

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование стехиометрического состава и распределения элементов в пленках оксида титана методом Резерфордского обратного рассеяния ионов гелия</b>

УДК 539.171.16:546.798.22:543.272

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б41	Морева Ирина Владимировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
с.н.с	Сохорева Валентина Викторовна			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н.		

Томск – 2018 г.

### Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
<b>Р1</b>	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОС3+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
<b>Р2</b>	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОС3+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>Р3</b>	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОС3+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
<b>Р4</b>	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОС3+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
<b>Р5</b>	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОС3+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>Р6</b>	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОС3+ (ПК-1, ПК-2)

<b>P7</b>	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	Требования ФГОС3+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
<b>P8</b>	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС3+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
<b>P9</b>	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОС3+ (ПК-9)

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки (специальность) 03.03.02 «Физика»  
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
ОБ41	Морева Ирина Владимировна

Тема работы:

<b>Исследование стехиометрического состава и распределения элементов в пленках оксида титана методом Резерфордского обратного рассеяния ионов гелия</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования являются:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. пленки оксида титана, нанесенные с помощью магнетронного распыления на полированную поверхность чистого Ti;</li> <li>2. тонкие пленки металлов Mo; Mo/Ta; Mo/Ta/W, нанесенные на подложку из майлара толщиной 10 мкм.</li> </ol> <p>В процессе необходимо определить состав пленочных покрытий, отклонение от стехиометрии, получить профили распределения элементов по глубине.</p>
---	---

	<p>В процессе исследования необходимо определить состав и распределение элементов по глубине <math>\text{TiO}_2</math> на массивной подложке чистого <math>\text{Ti}</math> и определить элементный состав образцов пленок <math>\text{Mo}</math>; <math>\text{Mo/Ta}</math>; <math>\text{Mo/Ta/W}</math> на подложке из майлара. Данную цель необходимо достичь с помощью метода РОР при облучении исследуемых образцов спектрометрическим альфа источником <math>^{238}\text{Pu}</math> и ускорителем ЭСГ-5.</p> <p>Для накопления и обработки результатов будут использоваться программы: Анализатор-241, Simnra, SRIM, LIZE++.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Для реализации поставленной задачи необходимо исследовать ряд вопросов:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. сделать литературный обзор, выяснить достижения мировой науки и техники в области элементного анализа на заряженных частицах;</li> <li>2. рассмотреть и проанализировать физические основы и аналитические характеристики метода Резерфордского обратного рассеяния (РОР);</li> <li>3. исследование возможности определения элементного состава пленочных структур <math>\text{TiO}_2</math>; <math>\text{Mo}</math>; <math>\text{Mo/Ta}</math>; <math>\text{Mo/Ta/W}</math> методом РОР с использованием спектрометрического альфа-источника <math>^{238}\text{Pu}</math> в качестве источника ионизирующего излучения и с использованием ускоренных альфа частиц ускоренных на ЭСГ-2,5 и ЭСГ-5;</li> <li>4. выбор готового программного обеспечения;</li> <li>5. получение и обработка с применением моделирования энергетических спектров РОР для пленочных покрытий <math>\text{TiO}_2/\text{Ti}</math>.</li> <li>6. обсуждение результатов выполненной работы;</li> <li>7. технико-экономическое обоснование;</li> <li>8. производственная и экологическая безопасность.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант

Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович, профессор отделения общетехнических дисциплин
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна, доцент отделения социально-гуманитарных наук
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
с.н.с	Сохорева Валентина Викторовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б41	Морева Ирина Владимировна		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б41	Морева Ирина Владимировна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материальные затраты – 5856 руб., затраты на приобретение спецоборудования – 2258000 руб., накладные расходы - 824,064 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации – от 10 до 33%.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциальные потребители результатов исследования. Выполнение SWOT- анализа проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Проведение оценки ресурсной и финансовой эффективности исследования.

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б41	Морева Ирина Владимировна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б41	Морева Ирина Владимировна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).</li> </ul>
<p><i>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ;</li> <li>2. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;</li> <li>3. ГОСТ 12.1.003-8 Шум. Общие требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002;</li> <li>4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы;</li> <li>5. ГОСТ 12.1.005—88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998;</li> <li>6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы;</li> <li>7. ГОСТ 12.2.062-81 Оборудование производственное. Ограждения защитные. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2006;</li> <li>8. Приказ Минэнерго РФ от 30.06.2003 N 261 «Об утверждении инструкции по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках»;</li> <li>9. ГОСТ 12.2.085-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2007;</li> <li>10. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.</li> </ol>



<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);</li> <li>– радиационная безопасность.</li> </ul>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– радиоактивные выбросы;</li> <li>– утилизация отходов;</li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– техногенные;</li> <li>– природные.</li> </ul>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема расположения рабочих мест;</li> <li>2. План размещения светильников на потолке рабочего помещения;</li> <li>3. План эвакуации</li> </ol>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	Д.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б41	Морева Ирина Владимировна		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 03.03.02. «Физика»

Уровень образования Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
5.02.2018	Поиск и исследование литературы по теме ВКР	12
19.02.2018	Подбор, изучение и проработка практических материалов. Написание первой главы ВКР	15
26.03.2018	Проведение экспериментов, получение экспериментальных результатов	15
18.04.2018	Моделирование экспериментальных спектров для исследуемых образцов при помощи программы SIMNRA	10
4.05.2018	Обработка экспериментальных результатов, написание второй и третьей глав ВКР	15
14.05.2018	Оценка результатов исследований, выводы и заключение	10
19.05.2018	Подготовка и оформление главы ВКР - социальная ответственность	10
23.05.2018	Подготовка и оформление главы ВКР - финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
26.05.2018	Оформление выпускной квалификационной работы, подготовка доклада для защиты ВКР	3

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
с.н.с.	Сохорева Валентина Викторовна			

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 100 страницы, 24 рисунка, 26 таблиц, 15 источников.

Ключевые слова: метод Резерфордовского обратного рассеяния, оксид титана, медицинские имплантаты, спектрометрический альфа-источник, ускоритель заряженных частиц ЭСГ-2,5.

Объектами исследования являются пленки оксида титана, нанесенные с помощью магнетронного распыления на полированную поверхность чистого титана и тонкие пленки металлов Mo, Mo/Ta, Mo/Ta/W, нанесенные на подложку из майлара толщиной 10 мкм.

Цель работы: Исследование методом Резерфордовского обратного рассеяния (ROR) стехиометрического состава и распределения элементов в пленках оксида титана ( $\text{TiO}_2$ ), применяемых в качестве защитного покрытия для медицинских имплантатов.

Задачей является исследование возможности определения элементного состава пленочных структур  $\text{TiO}_2$ , Mo, Mo/Ta, Mo/Ta/W методом ROR с использованием спектрометрического альфа-источника  $^{238}\text{Pu}$  в качестве источника ионизирующего излучения и альфа частиц ускоренных на электростатическом генераторе – ЭСГ-2,5.

В результате исследования был определен состав и было получено распределение элементов по глубине в пленках  $\text{TiO}_2$ .

Исследования показали, что в пленках  $\text{TiO}_2$  присутствует азот. Это можно объяснить, вероятно, присутствием газообразного азота в процессе нанесения пленок.

Также была исследована возможность применения в качестве источника ионизирующего излучения спектрометрического альфа-источника для анализа тонких пленок на подложках. Приведенная методика определения состава тонких пленок с помощью спектрометрического альфа-источника может быть успешно применена в отсутствие ускорителя заряженных частиц.

## Abstract

Graduation qualification work: 100 pages, 24 figures, 26 tables, 15 literature sources.

Key words: Rutherford backscattering method, titanium oxide, medical implants, spectrometric alpha source, accelerator of charged particles ESG-2,5.

The objects of investigation are titanium oxide films deposited by magnetron spraying on the polished surface of pure Ti and thin films of Mo, Mo/Ta, and Mo/Ta/W metals deposited on a 10-micron Mylar substrate.

The purpose of this work is to study the stoichiometric composition and distribution of elements in titanium oxide ( $\text{TiO}_2$ ) films used as a protective coating for medical implants by the Rutherford backscattering (RBS) method.

The task is to investigate the possibility of elemental composition determining of  $\text{TiO}_2$ , Mo, Mo/Ta, and Mo/Ta/W film structures by the RBS method using the  $^{238}\text{Pu}$  spectrometric alpha source as an ionizing radiation source and alpha particles accelerated by ESG-2.5.

As a result of the investigation, the composition was determined and the depth distribution of the elements in  $\text{TiO}_2$  films was obtained by the Rutherford backscattering method upon irradiation with alpha particles accelerated by electrostatic generator ESG-2.5. Also, the possibility of using spectrometric alpha source as an ionizing radiation source for the analysis of thin films on substrates was revealed.

Studies showed that there was nitrogen in  $\text{TiO}_2$  films. It can probably be explained by the presence of nitrogen gas during the films deposition.

The above procedure for determining the composition of thin films using a spectrometric alpha source can be successfully used in the absence of a charged particle accelerator.

## **Определения, обозначения и сокращения**

РОР – Резерфордское обратное рассеяние;

ЭСГ – Электростатический генератор;

ППД – Полупроводниковый детектор;

АЦП – Амплитудно-цифровой преобразователь;

TiO<sub>2</sub> – Оксид титана.

## Оглавление

Введение.....	18
1. Литературный обзор.....	20
1.1. Ядерно-физические методы анализа поверхности.....	20
1.2. Физические основы и аналитические характеристики метода ROP.....	23
1.3. Аналитические характеристики метода.....	27
1.3.1. Чувствительность метода, предел обнаружения.....	27
1.3.2. Избирательность метода, массовое разрешение.....	29
1.3.3. Глубина анализа, разрешение по глубине.....	29
2. Спектрометрия обратного рассеяния.....	31
2.1. Принцип работы и основные рабочие характеристики ППД.....	31
3. Экспериментальная часть.....	33
3.1. Материалы и приборы для исследований.....	33
3.2. Экспериментальная установка.....	33
3.3. Методика эксперимента.....	37
3.3.1. Подготовка эксперимента.....	37
3.3.2. Метод ROP с использованием альфа-источников.....	41
3.3.3. Экспериментальное исследование пленок $\text{TiO}_2$ .....	44
3.3.4. Обработка результатов эксперимента.....	45
4. Выводы.....	48
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
5.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	50
5.2. Анализ конкурентных технических решений.....	50
5.3. SWOT-анализ.....	52
5.4. Планирование научно-исследовательских работ.....	54
5.4.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	54
5.4.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	55

5.4.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	56
5.4.4. Бюджет научно-технического исследования.....	58
5.4.4.1. Расчет материальных затрат.....	59
5.4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование.....	60
5.4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы.....	60
5.4.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	62
5.4.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	62
5.4.4.6. Накладные расходы.....	63
5.4.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	63
5.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	64
6. Социальная ответственность.....	67
6.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	68
6.2. Производственная санитария.....	68
6.3. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на установке и ПЭВМ.....	69
6.3.1. Организация мероприятий.....	69
6.3.2. Требования к ПЭВМ и организация работы.....	70
6.3.3. Условия безопасной работы.....	72
6.3.4. Шум.....	74
6.4. Радиационная безопасность.....	75
6.4.1. Источники ионизирующего излучения.....	76
6.4.2. Общие правила эксплуатации ускорителей.....	77
6.4.3. Косвенные факторы опасности.....	78
6.4.4. Средства коллективной защиты (СКЗ).....	78
6.4.5. Средства индивидуальной защиты (СИЗ).....	79
6.5. Электробезопасность.....	80



6.5.1. Мероприятия по обеспечению электробезопасности	
электроустановок.....	83
6.6. Пожарная и взрывная безопасность.....	84
6.7. Освещение.....	88
6.8. Охрана окружающей среды.....	92
6.9. Чрезвычайные ситуации.....	94
6.10. Научно-техническая документация.....	95
Заключение.....	97
Список использованных источников.....	98

## **Введение**

В настоящее время широкое развитие ионно-плазменных технологий привело к использованию тонких пленок, обладающих уникальными свойствами и их использованию при создании медицинских имплантатов. Одной из важных проблем медицинского материаловедения является проблема биосовместимости покрытий на медицинские имплантаты.

Поэтому поиск новых подходов к технологии формирования биосовместимых покрытий на медицинские имплантаты является актуальной задачей, особенно для имплантатов применяемых при лечении сердечно-сосудистых заболеваний [1]. Сформированные на поверхности имплантатов пленки оксида титана не взаимодействуют с биологическими жидкостями, стабильны во времени и поэтому имеют хорошую перспективу для использования в медицинских целях.

Известные фирмы TITANOX (Hexacath, Франция), которые используют такие пленочные покрытия не решили полностью проблему их совместимости с организмом [2].

Пленки были получены реактивным магнетронным распылением двух компонентной газовой среды с одним реактивным газом. Предполагаются, что значительное влияние на свойства таких пленок оказывает их стехиометрический состав. Следовательно, при разработке технологии формирования пленок оксида титана важным является контролирование элементного состава пленок и исследование профилей распределения элементов в пленке и на границе раздела пленка-подложка.

Среди множества атомных и ядерно-физических методов, применяемых для анализа поверхностных покрытий, наиболее приемлемыми являются ядерно-физические методы, позволяющие выбрать наиболее перспективные направления научно-технологических на основе анализа экспериментальных данных о формировании наносимых пленочных покрытий.

Цель работы:

Исследование методом Резерфордского обратного рассеяния (ROR) стехиометрического состава и распределения элементов в пленках оксида титана ( $\text{TiO}_2$ ), применяемых в качестве защитного покрытия для медицинских имплантатов.

Задачи:

1. Экспериментальное выявление аналитических возможностей применения в качестве источника ионизирующего излучения спектрометрического альфа-источника для анализа тонких пленок, получение энергетических спектров для пленок Mo, Mo/Ta, Mo/Ta/W, нанесенных на майлар методом магнетронного распыления;

2. Определение состава и получения распределения элементов по глубине в пленках  $\text{TiO}_2$  методом ROR при облучении ионами гелия-4.

# **1 Литературный обзор**

## **1.1 Ядерно-физические методы анализа поверхности**

Защитные покрытия ( $\text{TiO}_2$ ) на медицинских имплантатах формируются при воздействии ионно-плазменных потоков. При этом существенное влияние оказывает состояние поверхности основы (подложки) и двухкомпонентная газовая среда. Предполагается, что значительное влияние на свойства пленочных покрытий будут влиять: свойства поверхности подложки, стехиометрический состав подложки и пленки, граница раздела пленка-подложка. Поэтому решение некоторых вопросов технологии формирования покрытий связано с методами элементного и структурного анализов. К таким методам следует отнести ядерно-физические методы анализа.

Ядерно-физические методы анализа используют монохроматические пучки ускоренных ионов с энергией порядка нескольких МэВ. С их помощью можно определять состав элементов, распределение элементов по глубине взаимодействия на границе раздела пленка-подложка. Данные методы очень чувствительные, они позволяют обнаруживать исследуемые элементы на уровне десятков и единиц на миллион (ppm). При этом изучаемая глубина может составлять до нескольких десятков мкм в зависимости от энергии налетающих ионов.

Все методы анализа поверхности основываются на взаимодействии зондирующего пучка с поверхностью образца. Выбор методов происходит по нескольким факторам, такими как, доступность, простота, общеупотребительность и взаимодополняемость.

Наиболее распространенными в настоящее время при разработке различных пленочных технологий являются методы, основанные на спектроскопии ROP и резонансного обратного рассеяния (РезОР).

Сущность метода обратного рассеяния заключается в следующем. Исследуемые образцы облучаются моноэнергетическими пучками ионов  $^1\text{H}$ ,  $^4\text{He}$ . После упругого взаимодействия с ядрами атомов мишени частицы рассеиваются и детектируются. Последующий анализ спектров обратно рассеянных частиц

дает сведения о массе рассеивающего атома и глубине его залегания.

Методы POP и РезОР обладают высокой селективностью, вследствие уникальности свойств атомных ядер. При проведении анализов дозы облучения, как правило, малы и поэтому методы можно считать неразрушающими.

Количественная информация о профиле распределения элементов из полученных энергетических спектров является некорректной математической задачей. Для решения этой задачи используются различные математические приемы, в которых учтены: тормозная способность вещества, дифференциальное сечение взаимодействия. Большое влияние на результат математической обработки оказывает учет энергетического разброса пучка при его торможении в исследуемом образце (страгглинг), шероховатость поверхности и различные искажения в энергетических спектрах. В настоящее время существуют математические программы обработки экспериментальных результатов: SIMNRA, BS и NRA. Эти программы, тем не менее, имеют ряд неточностей и приближений, поэтому необходимо корректировать результаты с помощью энергетических спектров, полученных от эталонных образцов.

Методы POP и РезОР позволяют регистрировать практически все массы. Однако, с помощью метода POP с высокой достоверностью можно определять элементы с  $Z > 18$ , в случае подложки с высоким  $Z$ . Для определения легких элементов, таких как, C, N, O, из-за высокого соотношения сигнал-фон необходимо использовать метод РезОР. При анализе методом РезОР используется упругое ядерное рассеяние, при котором функции возбуждения (зависимость сечения от энергии) возникают резонансы в виде изолированного пика. При этом, сечение резонансного рассеяния на несколько порядков выше Резерфордского обратного рассеяния [3]. Анализ этим методом позволяет определять интегральное содержание и профиль концентрации атомов с массой меньшей массы атомов матрицы, а именно C, N, O в образцах среднего и тяжелого атомного состава.

Возможности методов POP и РезОР не позволяют определять примеси наилегчайших элементов, таких как,  $^1\text{H}$  и  $^4\text{He}$ , что в свою очередь затрудняет

проводить математическую обработку (симулирование) полученных в результате анализа энергетических спектров. Эти элементы можно определять методом ядер отдачи (ЯО). В таблице 1 приводятся аналитические характеристики рассмотренных выше методов, их возможности и ограничения в применении.

Таблица 1 – Аналитические характеристики ядерно-физических методов анализа поверхности

Методы	Энергия, МэВ	Анализирующие элементы	Исследуемый слой, мкм	Разрешение по глубине, мкм	Предел обнаружения, атом/см <sup>2</sup>	Время анализа, мин
РОР	0,1-5	Средние и тяжелые элементы	0.1-5	0.005-0.03	10 <sup>12</sup> -10 <sup>13</sup>	15-20
РезОР	0,5-25	С, N, О	1-10	0.01-0.1	10 <sup>13</sup>	15-20
ЯО	1-15	От Н до О	1-5	0.03-0.1	10 <sup>13</sup>	15-20

## 1.2 Физические основы и аналитические характеристики метода ROP

Рассмотрим более подробно физические основы и аналитические характеристики метода ROP.

Коллимированный пучок ускоренных ионов массой  $M_1$ , порядковым номером  $Z_1$  и энергией  $E_0$  направляют на исследуемый образец под углом  $\theta_1$  относительно нормали и рассеянным ионом массой  $M_1$ . Часть частиц пучка отразится от атомных ядер в поверхностном слое, а большая часть проникает в образец и испытывает рассеяние. Далее рассеянные частицы регистрируются полупроводниковым поверхностно-барьерным детектором [3].

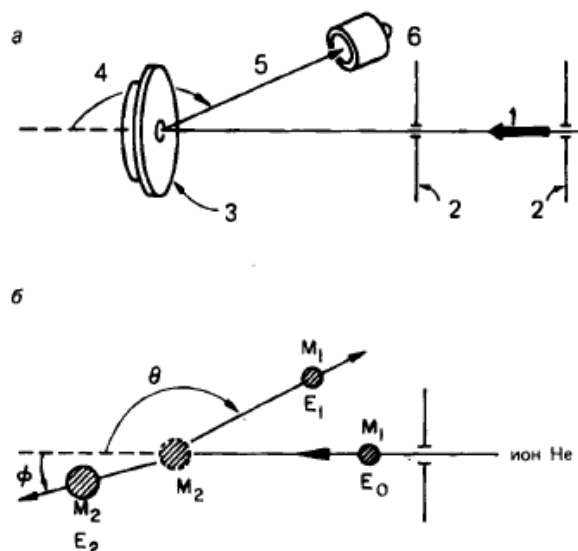


Рисунок 1 – Схема метода ROP

Где: а – для обратного рассеяния Резерфорда; б – для упругого столкновения частицы с неподвижным атомом мишени, 1 – пучок ионов; 2 – коллиматоры; 3 – образец; 4 – угол рассеяния; 5 – рассеянный пучок; 6 – детектор ядерных частиц.

Потеря энергии ионом при рассеянии описывается кинематическим фактором  $K_i$ , общее выражение для которого рассчитывается по следующей формуле:

$$E_i = K_i E_0 = \left[ \frac{M \cos \theta + (M_i^2 - M^2 \sin^2 \theta)^{1/2}}{M + M_i} \right]^2 E_0 \quad (1)$$

Положение, соответствующее  $\theta$  равному 180 градусов, будет наиболее предпочтительным для детектора – рисунок 2. Однако поместить детектор (за исключением детектора кольцевого типа) точно на угол  $\theta$  равный 180 градусов невозможно, поскольку он будет преграждать путь для рассеянных частиц. По этой причине детектор обычно устанавливается в положение, близкое к углу в 180 градусов [4].

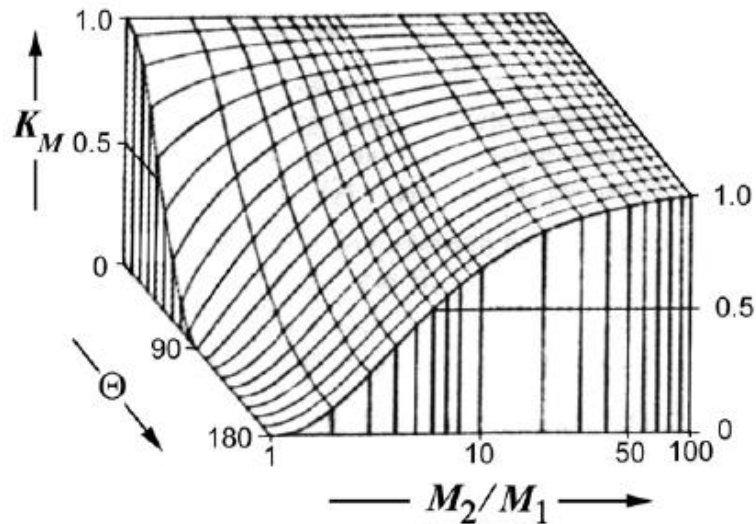


Рисунок 2 – Зависимость кинематического фактора  $K_M$  от  $M_2/M_1$  и  $\theta$

Вероятность рассеяния частицы определяется выражением для дифференциального сечения рассеяния:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2E_0 \sin^2 \theta} \right)^2 \frac{\left[ \sqrt{1 - \left( \frac{M_1}{M_2} \sin \theta \right)^2} + \cos \theta \right]^2}{\sqrt{1 - \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2}} \quad (2)$$

Регистрация рассеянных частиц производится полупроводниковым поверхностно-барьерным детектором в телесный угол  $\Omega$ , рисунок 3, поэтому общее число частиц ( $A$ ), регистрируемое детектором в результате рассеяния общего числа частиц  $Q$  поверхностным слоем мишени толщиной  $N \cdot t$  (где  $N$  - число частиц в единице объема мишени;  $t$  - толщина мишени в [см]), определяется следующим выражением:

$$A = \sigma \cdot \Omega \cdot Q \cdot N \cdot t, \quad (3)$$

где  $\sigma$  - суммарное сечение рассеяния частиц в телесный угол  $\Omega$ .



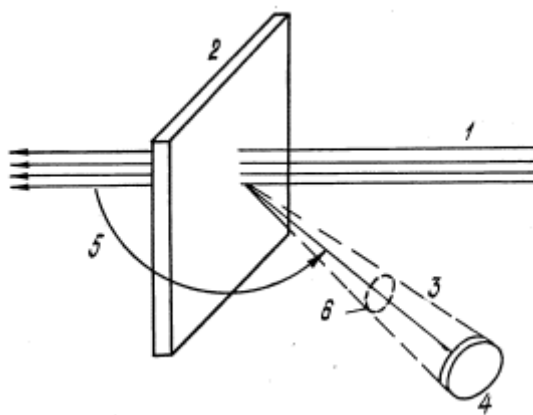


Рисунок 3 – Упрощенная схема эксперимента по рассеянию, иллюстрирующая понятие дифференциального сечения рассеяния

На рисунке 3 изображена схема эксперимента РОР, где: 1 – падающий пучок частиц; 2 – мишень; 3 – рассеянные альфа-частицы; 4 – детектор; 5 – угол рассеяния  $\theta$ ; 6 – телесный угол захвата детектора  $\Omega$ .

Процесс рассеяния на ядерных взаимодействиях на поверхности может быть полностью описан приведенными выражениями.

При рассмотрении рассеяния на атомах находящихся в глубине мишени, необходимо ввести параметры, характеризующие энергетические потери ионов в материале до и после рассеяния. При расчете обычно пользуются величинами удельных тормозных потерь ( $\varepsilon$ ) с размерностью [эВ/ат·см<sup>2</sup>]:

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{N}\right) \times \left(\frac{dE}{dx}\right) \quad (4)$$

Энергетическая зависимость  $\varepsilon$  как  $f(E)$  может быть задана и аналитически [5-7]. Приведенных формул вполне достаточно для описания процесса рассеяния ионов в мишени. Основная трудность рассмотрения реального спектра РОР от конкретной мишени связана с обоснованием метода разложения этого спектра на компоненты и не является принципиальной.

Использование ядерных взаимодействий для построения профиля концентрации элементов по глубине имеет ограниченный характер связанный и изотопной избирательностью и ограничением числа пороговых и резонансных ядерных взаимодействий в любом интервале энергий. Существенным ограничением является и тот факт, что при построении профиля концентрации

элементов необходимо знание общего сечения тормозных потерь, рассчитываемого для многокомпонентного соединения по правилу Брегга [5,7]:

$$\varepsilon(E)_{A_mB_n} = m \cdot \varepsilon_A(E) + n \cdot \varepsilon_B(E), \quad (5)$$

где  $\varepsilon_A(E)$  и  $\varepsilon_B(E)$  - сечение торможения для атомов химических элементов А и В соответственно.

В качестве примера возьмем молекулу  $\text{SiO}_2$ - рисунок 4.

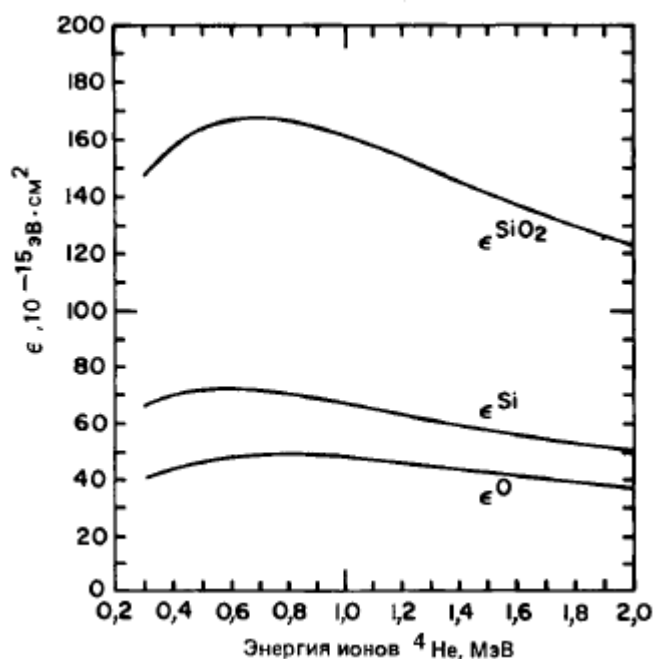


Рисунок 4 – Сечения торможения  $\varepsilon$  ионов  $^4\text{He}$  в Si, O и  $\text{SiO}_2$

Сечение торможения  $\varepsilon(E)_{\text{SiO}_2}$  определялось по правилу Брегга [5].

Предельные возможности измерений, основанных на методах ионной спектроскопии, как правило, ограничиваются характеристиками используемого оборудования и интенсивностью полезного сигнала, зависящего от вероятности рассеяния иона и его регистрации АЦП. Кроме этого имеется ряд ограничений связанных с погрешностью табулированных энергетических зависимостей тормозных сечений. Точность этих констант, как правило, не хуже нескольких процентов [6]. Естественно, величина неточности значений тормозных сечений не может быть скомпенсирована никакими программными ухищрениями и будет приводить к некоторой неопределенности в окончательном профиле распределения элементов в мишени. При этом наблюдаемые значения

отклонений могут быть связаны с пористостью и различными дефектами исследуемых кристаллов, наличием примеси, разным фазовым состоянием и отличием температурных режимов экспериментальных измерений. По этим причинам измерения должны проводиться в рамках своей энергетической зависимости тормозных сечений, имеющих некоторый сдвиг относительно табулированных данных. Такой сдвиг может быть равным нескольким процентам.

Существенным экспериментальным фактором является чистота вакуума измерительной камеры. Обычно давление в установках с ускорителями составляет  $1,3 \cdot 10^{-5}$  Па. В то же время наличие паров масла в вакуумном объеме даже при давлении  $5 \cdot 10^{-5}$  Па приводит к появлению на поверхности мишени углеродной пленки, толщина которой оказывается пропорциональной величине суммарной дозы облучения [7].

Важную роль в экспериментальных исследованиях играют и такие параметры, как энергетическое разрешение системы  $\delta E$ , разброс энергии в первичном пучке  $\delta E_0$ , шероховатость поверхности мишени. Эти факторы непосредственно влияют на разрешение профиля распределения элементов изучаемой мишени.

### **1.3 Аналитические характеристики метода**

К основным аналитическим характеристикам метода РОР относятся:

- чувствительность метода и предел обнаружения;
- избирательность метода и массовое разрешение;
- глубина анализа и разрешение по глубине.

#### **1.3.1 Чувствительность метода, предел обнаружения**

Под чувствительностью метода понимается его способность обнаружить разницу между близкими концентрациями атомов определяемого элемента. Предел обнаружения характеризует наименьшее содержание элемента, которое можно обнаружить с заданной достоверной вероятностью. Предел обнаружения зависит от превышения полезным сигналом фона и ограничивает применимость

метода по отношению к низким концентрациям. Чувствительность метода РОР зависит от массы, порядкового номера и глубины залегания атомов определяемого элемента в матрице. При нахождении предела  $C_{i_{min}}$  обнаружения в различных по составу образцах выделяют два случая:

1. Спектр ионов, обратно рассеянных от исследуемых атомов, перекрывается спектром ионов, рассеянных атомами матрицы. Это наблюдается, когда легкие атомы находятся в тяжелой матрице, либо тогда, когда атомы тяжелой примеси находятся на больших глубинах в легкой матрице;

2. Спектр ионов, обратно рассеянных атомами тяжелой примеси, отделяется от спектра ионов, рассеянных атомами легкой матрицы. Когда в состав образца входят атомы нескольких химических элементов и масса определяемого элемента ( $i$ ) меньше, чем масса хотя бы одного из оставшихся элементов, определение содержания  $i$ -го элемента возможно, если высота ступеньки  $H_i$  в спектре больше, чем флуктуации выхода обратно рассеянных ионов в окрестности этой ступеньки. Выход ионов, рассеянных атомами более тяжелых элементов, в этом случае является фоном, мешающим определению атомов элемента.

Величина  $C_{i_{min}}$  для массивного образца рассчитывается с помощью выражения:

$$C_{i_{min}} \geq \frac{\sum_{j=1}^n C_j \cdot S_j(E) \cdot Z_j^2 [S]_j}{S_j(E) \cdot Z_j^2 [S]_j} \times \frac{1}{\xi}, \quad (6)$$

$$\xi = \sqrt{\sum_{j=1}^n H_j}, \quad (7)$$

где  $\xi$  - дисперсия числа отсчетов в той области спектра, где находится ступенька (или пик) атомов определяемого элемента. Суммирование производится по всем элементам с атомной массой  $M_j$  больше  $M_i$ .

Наиболее удобным для анализа является случай, когда масса атомов  $i$ -го элемента является наибольшей в образце, либо образец является таким тонким, что пики, принадлежащие атомам различных элементов, входящим в состав образца, разделяются между собой. В этом случае величина  $C_{i_{min}}$  определяется

уровнем фона в спектре. Так как выход обратного рассеяния ионов возрастает пропорционально  $Z_2^2$ , то наибольшая чувствительность достигается, когда масса атомов определяемого элемента намного больше, чем масса оставшихся элементов.

Возможность обнаружения небольших количеств атомов примеси на поверхности или в приповерхностных слоях материала зависит от тока первичного ионного пучка, телесного угла детектора, сечения рассеяния ионов на заданный угол. Квадратичная зависимость сечения рассеяния от порядкового номера рассеивающего атома приводит к тому, что метод ROP оказывается неэффективным при анализе легких примесей в тяжелых матрицах.

### 1.3.2 Избирательность метода, массовое разрешение

Избирательность является важной характеристикой многоэлементных методов анализа и характеризуется массовым разрешением  $\Delta M_2/M_2$ , где  $\Delta M_2$  – минимальная разница в массе атомов соседних элементов, которые еще можно различить по спектру. Различие в энергии ионов, испытавших обратное рассеяние на атомах заданной массы, увеличивается с ростом  $M_1$  и угла рассеяния  $\theta$ . Массовое разрешение определяется выражением:

$$\frac{\Delta M_2}{M_2} = \frac{\Delta E \cdot (M_1 + M_2)^3}{2 \cdot E \cdot M_1 \cdot M_2 \cdot (M_1 - M_2) \cdot \cos \theta}, \quad (8)$$

где  $\Delta E$  – минимальное расстояние по энергетической шкале между двумя линиями (ступеньками) в спектре, при котором эти линии (ступеньки) разделяются между собой.

Для случая рассеяния ионов назад ( $\theta$  равен 180 градусам), выражение принимает вид:

$$\frac{\Delta M_2}{M_2} \times \frac{E}{\Delta E} = \frac{(M_1 + M_2)^3}{2 \cdot M_1 \cdot M_2 \cdot (M_1 - M_2)} \quad (9)$$

### 1.3.3 Глубина анализа, разрешение по глубине

Глубина анализа  $X_{\max}$  представляет собой максимальную глубину образца, на которой возможно определение его состава. Глубина анализа при использовании быстрых протонов и ионов гелия составляет 1-10 мкм. Она

зависит от начальной энергии ионов, тормозной способности вещества, геометрии рассеяния и массы атомов определяемого элемента. Энергия ионов при этом должна быть выше, чем  $0,25 \cdot E_0$ . Глубина анализа с учетом этого условия будет определяться выражением:

$$X_{\max} = \frac{3 \cdot K_i \cdot E_0}{4 \cdot [S]_i} \quad (10)$$

При определении профилей атомов примеси величина  $X_{\max}$  рассчитывается по формуле:

$$X_{\max} = \frac{(K_{\text{пр}} - K_{\text{м}}) \cdot E_0}{4 \cdot [S]_{\text{пр}}^{\text{м}}}, \quad (11)$$

где  $K_{\text{пр}}$  и  $K_{\text{м}}$  кинематические коэффициенты, соответственно, для атомов примеси и матрицы;  $[S]_{\text{пр}}^{\text{м}}$  - параметр торможения ионов в матрице при их обратном рассеянии на атомах примеси.

Разрешение по глубине характеризует возможность использования метода для послойного анализа и выражается через энергетическое уширение спектра обратнорассеянных ионов:

$$\delta X = \frac{\delta E_c}{[S]} \quad (12)$$

С учетом всех факторов, способствующих уширению спектра,  $\delta E_c$  можно выразить следующим образом:

$$\delta E_c = \sqrt{(\delta E_n)^2 + (\delta E_D)^2 + (\delta E_{\text{ст}})^2 + (\delta E_{\Omega})^2 + (\delta E_{\text{мр}})^2}, \quad (13)$$

где  $\delta E_n$  - энергетический разброс в падающем пучке;  $\delta E_D$  - энергетическое разрешение детектора;  $\delta E_{\text{ст}}$  - энергетический разброс за счет страгглинга;  $\delta E_{\Omega}$  - энергетический разброс, связанный с геометрией рассеяния и конечным телесным углом детектирования;  $\delta E_{\text{мр}}$  - энергетический разброс, обусловленный многократным рассеянием ионов [8].

Рассмотрим спектрометрию обратного рассеяния.

## 2 Спектрометрия обратного рассеяния

При анализе энергии рассеянных ионов используется комплекс спектрометрической аппаратуры. Основным узлом спектрометрического тракта является поверхностно-барьерный кремниевый детектор (ППД).

### 2.1 Принцип работы и основные рабочие характеристики ППД

Из полупроводниковых кристаллов для регистрации ионов гелия в настоящее время используются в основном кремний. Схема работы кремниевого поверхностно-барьерного детектора ядерных частиц представлена на рисунке 5.

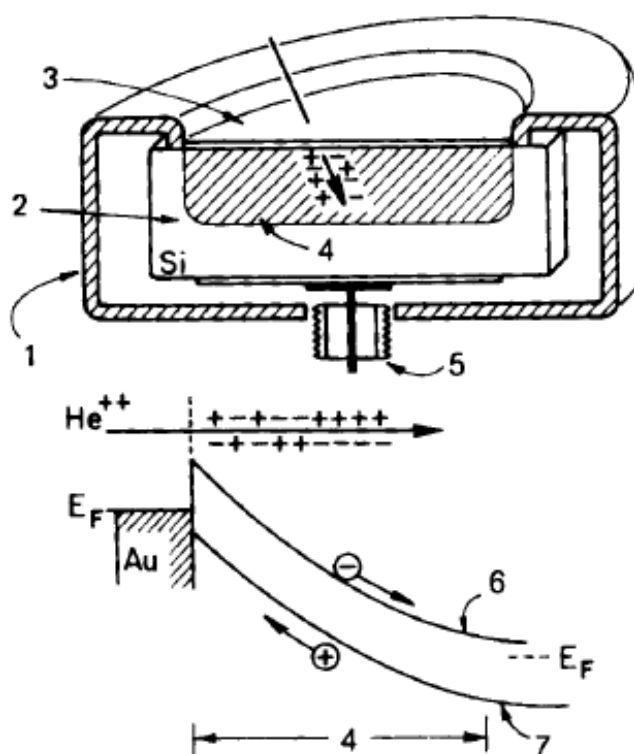


Рисунок 5 – Схема работы кремниевого поверхностно-барьерного детектора ядерных частиц

Где 1 – корпус детектора; 2 – кремниевый диск; 3 – слой золота;  
4 – чувствительная область; 5 – выводное соединение; 6 – зона проводимости; 7 – валентная зона.

Верхняя часть рисунка показывает в разрезе кремниевый диск с золотой пленкой, нанесенный на поверхность кремниевой пластины. Нижняя часть

рисунка демонстрирует процесс образования дырок и электронов вдоль траектории  $\alpha$ -частицы в чувствительной области детектора [9].

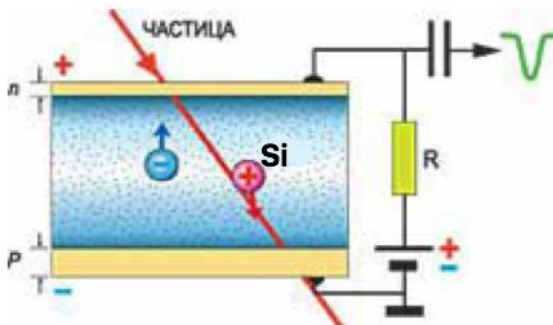


Рисунок 6 – Устройство полупроводникового детектора

Полупроводниковый детектор – прибор для регистрации ионизирующих излучений, основным элементом которого является кристалл полупроводника.

Заряженная частица, проникая в детектор, создаёт дополнительные (неравновесные) электронно-дырочные пары, которые под действием электрического поля «рассасываются», перемещаясь к электродам прибора. В результате во внешней цепи полупроводникового детектора возникает электрический импульс, который далее усиливается и регистрируется.

Полупроводниковый детектор работает подобно ионизационной камере с тем отличием, что ионизация происходит не в газовом промежутке, а в толще кристалла. Полупроводниковый детектор представляет собой полупроводниковый диод, на который подано обратное (запирающее) напряжение ( $\sim 10^2$  В). Слой полупроводника вблизи границы р—n-перехода с объёмным зарядом «обеднён» носителями тока (электронами проводимости и дырками) и обладает высоким удельным электросопротивлением. К полупроводниковому кристаллу прикладывается напряжение до нескольких кВ, что обеспечивает сбор всех зарядов, образованных частицей в объёме детектора [10].



### **3 Экспериментальная часть**

#### **3.1 Материалы и приборы для исследований**

1. Пленки  $\text{TiO}_2$ , нанесенные на подложку из Ti методом магнетронного распыления. Образцы для анализа были представлены сотрудниками отделения исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов ТПУ;

2. Пленки  $\text{Mo/C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$ ,  $\text{Mo/Ta/C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$ ,  $\text{Mo/Ta/W/C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$ , нанесенные методом магнетронного распыления. Пленки были нанесены на майлар, чтобы уменьшить фон от подложки при анализе элементов в пленках;

3. Электростатический генератор ЭСГ-2,5;

4. Полупроводниковый детектор (ППД);

5. Установка для определения ВАХ и емкостных характеристик ППД.

#### **3.2 Экспериментальная установка**

Техника метода ROP состоит в облучении образцов ионами с одновременной регистрацией упруго рассеянных частиц энергетическими спектрометрами. Энергия и интенсивность несут количественную информацию об элементном составе пленок и глубине залегания примеси.

Основной установкой, применяемой для анализа, являлся ускоритель заряженных частиц, в качестве которого служил электростатический генератор ЭСГ-2,5. На рисунке 7 представлена фотография электростатического генератора, а на рисунке 8 представлена схема экспериментальной установки.

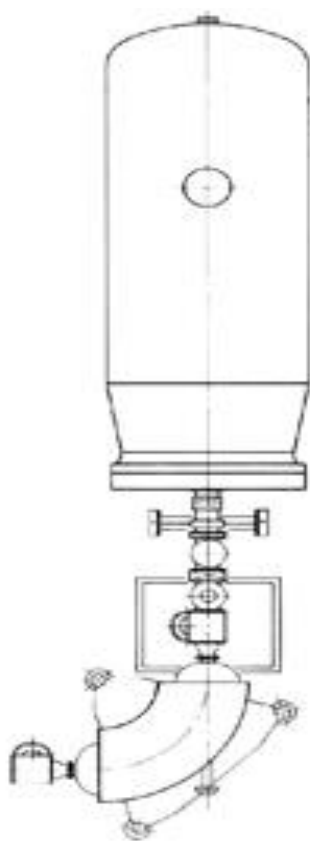


Рисунок 7 – Электростатический генератор ЭСГ 2,5

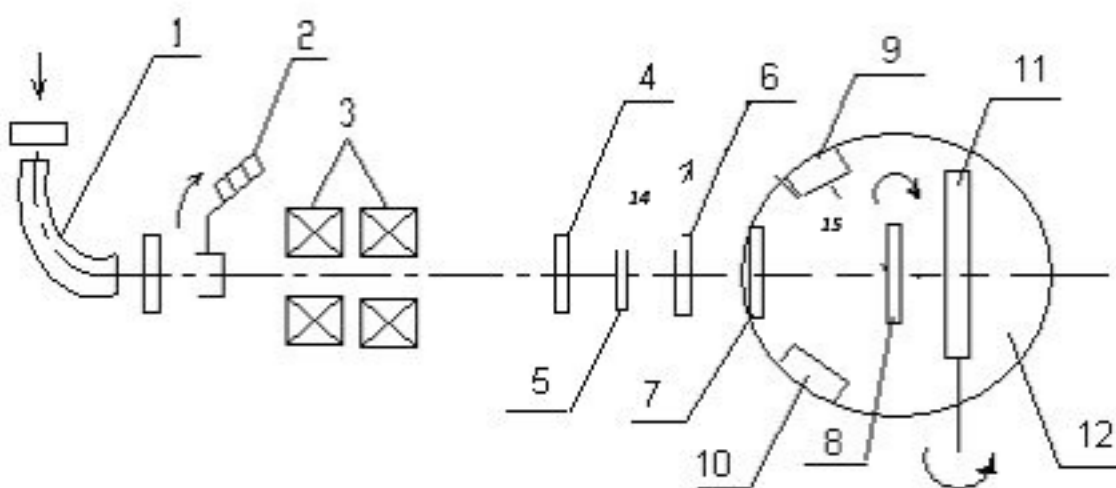


Рисунок 8 – Схема экспериментальной установки [11]

Где 1 – поворотный магнит; 2, 5 – приборы для наблюдения пучка (кварц);  
3 – квадрупольные линзы; 4, 6, 7 – диафрагмы; 8 – система мониторингирования  
пучка; 9 – мониторный детектор; 10 – полупроводниковый детектор (основной);  
11 – держатель образцов; 12 – экспериментальная камера.

Пучок ионов  $^4\text{He}$  из электростатического генератора ЭСГ-2,5 проходил магнитный анализатор (1), систему наблюдения пучка и измерения его параметров (2,7), затем фокусировался магнитными квадрупольными линзами (3) и через диафрагмы (6, 8, 10) попадал в камеру монитора (9), затем пучок ионов попадал в экспериментальную камеру (12) на образец, который был закреплен на держателе мишени (11).

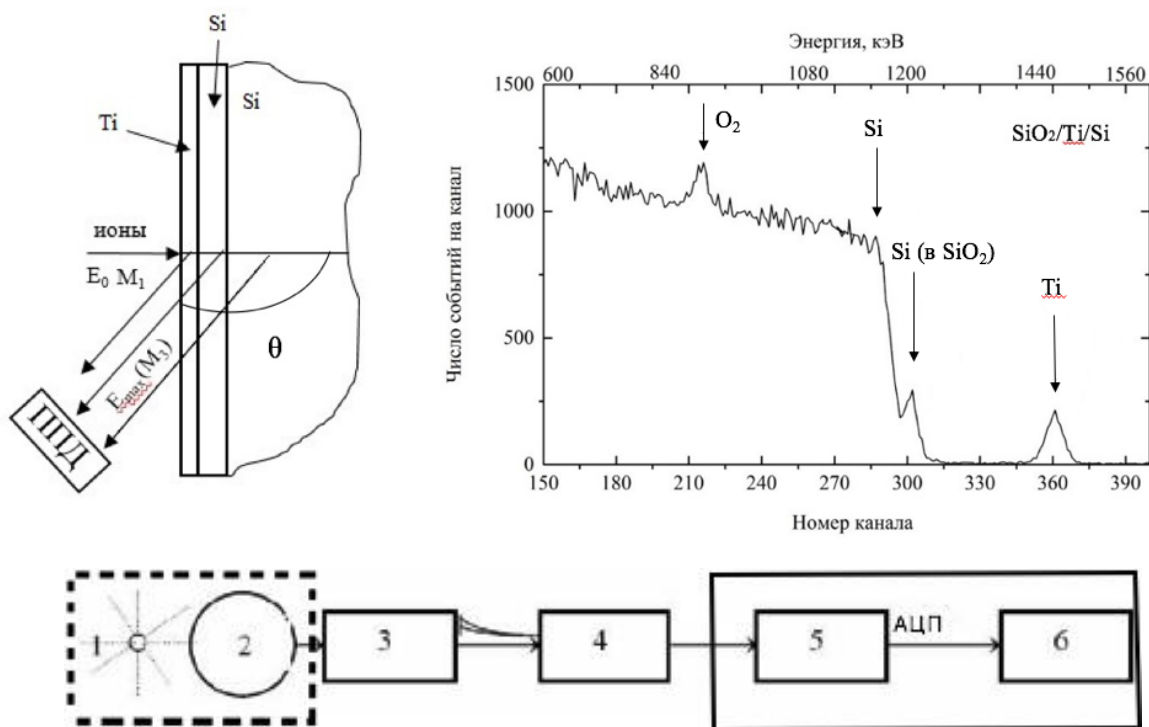


Рисунок 9 – Схема упругого рассеяния, энергетический спектр ROP и блок-схема спектрометрического тракта

Где 1 – источник  $\alpha$ -излучения, 2 – ППД, 3 – предварительный усилитель (предусилитель – для преобразования величины заряда в пропорциональную амплитуду напряжения), 4 – усилитель (для формирования сигналов по длительности и подавления шумов), 5 – амплитудно-цифровой преобразователь, 6 – компьютер.

Таблица 2 – Аналитические характеристики ЭСГ-2,5 [12]

Ускорители ионов	Электростатический генератор ЭСГ - 2,5
Используемые ионы	$^1\text{H}$ , $^2\text{H}$ , $^3\text{He}$ , $^4\text{He}$ , $^{12}\text{C}$ , $^{14}\text{N}$ , $^{16}\text{O}$
Энергия ионов, МэВ	0,5 – 2,5
Ток пучка, мкА	0-100
Стабильность энергии и тока пучка, %	0,02
Интенсивность, частиц/сек	$10^{14}$
Угол рассеяния, град	95-175
Анализируемые элементы	$Z \geq 2$
Максимальная глубина анализа, мкм	1 - 5
Разрешение по глубине, нм	4 - 30
Локальность анализа на поверхности, мкм	10 - 2000
Предел обнаружения, атомов/см <sup>2</sup>	$10^{12} - 10^{14}$
Время анализа, мин	5- 40
Требования к пробоотбору	нет
Погрешность определения атомного состава, %	2 - 10

Диаметр падающего пучка на образце зависит от диаметра диафрагм и изменяется от 1 до 8 мм. Ток пучка изменяется в диапазоне 0,1 - 30 нА. Минимальное угловое расхождение падающего пучка составляет 0,005° градусов. Энергетический разброс ионов первичного пучка не превышает 2,4 кэВ. Вакуумные объемы ионопровода и экспериментальной камеры откачиваются форвакуумными и магниторазрядными насосами. Исследуемые образцы устанавливаются в центре экспериментальной камеры под различными углами относительно направления падающего пучка на многопозиционный держатель в виде калиброванной линейки, который позволяет перемещать их в горизонтальном направлении и устанавливать последовательно каждый образец под пучок ионов. Анализ рассеянных ионов по энергиям производился с помощью спектрометрического тракта, состоящего из кремниевого

поверхностно-барьерного детектора, предусилителя, основного усилителя и АЦП установленного в ЭВМ [11].

В спектрометрическом и мониторинг трактах использовались поверхностно-барьерные кремниевые детекторы с тонким входным окном, изготовленные по технологии, разработанной в ТПУ. Разрешение спектрометрического тракта  $\delta E_d$  составило  $10 \div 16$  кэВ.

Ширина канала анализатора определялась экспериментально и сохранялась постоянной в каждой серии измерений. За реперные точки бралась энергия калиброванного альфа-источника:  $^{226}\text{Ra}$  ( $E_{\alpha}$ равное 4784,4 кэВ; 5489,5 кэВ; 6002,4 кэВ; 7684,9 кэВ).

### **3.3 Методика эксперимента**

#### **3.3.1 Подготовка эксперимента**

При проведении эксперимента нам необходимо было уточнить начальную энергию ускоренных альфа-частиц на ЭСГ-2,5.

С помощью спектрометрического альфа-источника проводим калибровку шкалы анализатора. Для этого в камере рассеяния дистанционно подводим  $\alpha$ -источник к спектрометрическому ППД и снимаем энергетический спектр. На рисунке 10 представлен энергетический спектр ППД для источника  $^{238}\text{Pu}$  с 4мя энергетическими линиями 4784,4 кэВ; 5489,5 кэВ; 6002,4 кэВ; 7684,9 кэВ.

Зная энергию линии источника и определив расстояние в каналах между энергетическими пиками определяем ширину канала  $\delta E$ .

$$\delta E = \frac{E_4 - E_2}{n} \quad (14)$$

В результате расчетов была откалибрована ширина канала анализатора в энергетических единицах – 8,25 кэВ/канал.

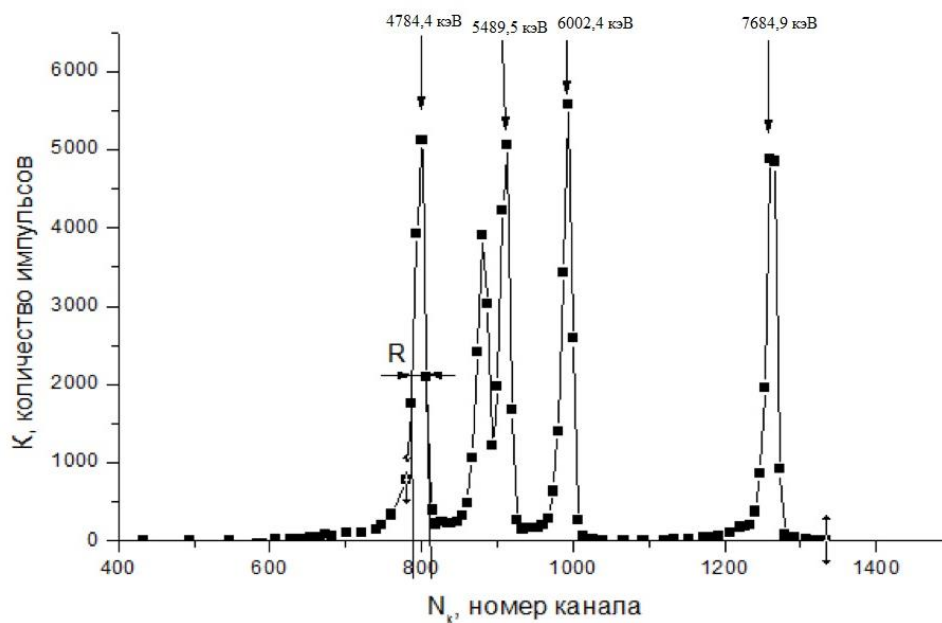


Рисунок 10 – Энергетический спектр детектора

Для уточнения энергии ускоренных ионов необходимо было получить энергетический спектр для двух эталонных образцов, из Si и Au.

Зная энергию на канал, определяем энергию регистрации для Si и для Au. Затем по формуле (1) для этих элементов рассчитываем кинематический фактор. Зная кинематический фактор по формуле (15) рассчитываем начальную энергию  $E_0$  для Si и для Au.

$$E_p = E_0 \cdot K, \quad (15)$$

где  $E_p$  – энергия регистрации,  $E_0$  – энергия налетающих частиц,  $K$  – кинематический фактор.

Ниже на рисунке 11 представлена зависимость кинематического фактора от углов рассеяния рассчитанных для элементов, предполагаемых в образце.

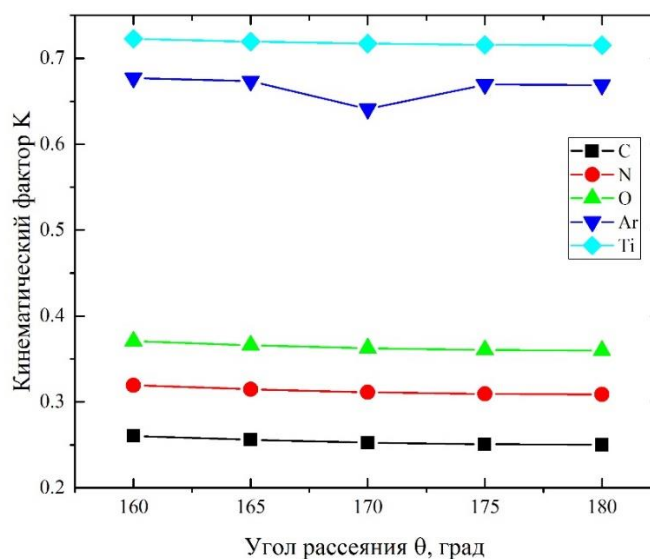


Рисунок 11 – Кинематический фактор для изучаемых элементов

Необходимое условие для анализа методом POP – знание предыстории создания исследуемых образцов, технологический цикл их формирования.

Предварительно зная состав исследуемого образца необходимо оценить степень применимости метода POP для его исследования, а также оптимизировать физический эксперимент.

Оптимизация физического эксперимента заключалась в следующем: с помощью программы SIMNRA создавалась модель, состав которой задавался и соответствовал составу исследуемых образцов. Меняя энергию налетающих ионов в модели, мы определяли возможность исследования данных образцов по глубине.

Ниже на рисунке 12 представлены условия эксперимента, где задавались  $E_0$ ,  $\theta$ ,  $\delta E$ ,  $\varphi$  и элементный состав образцов.

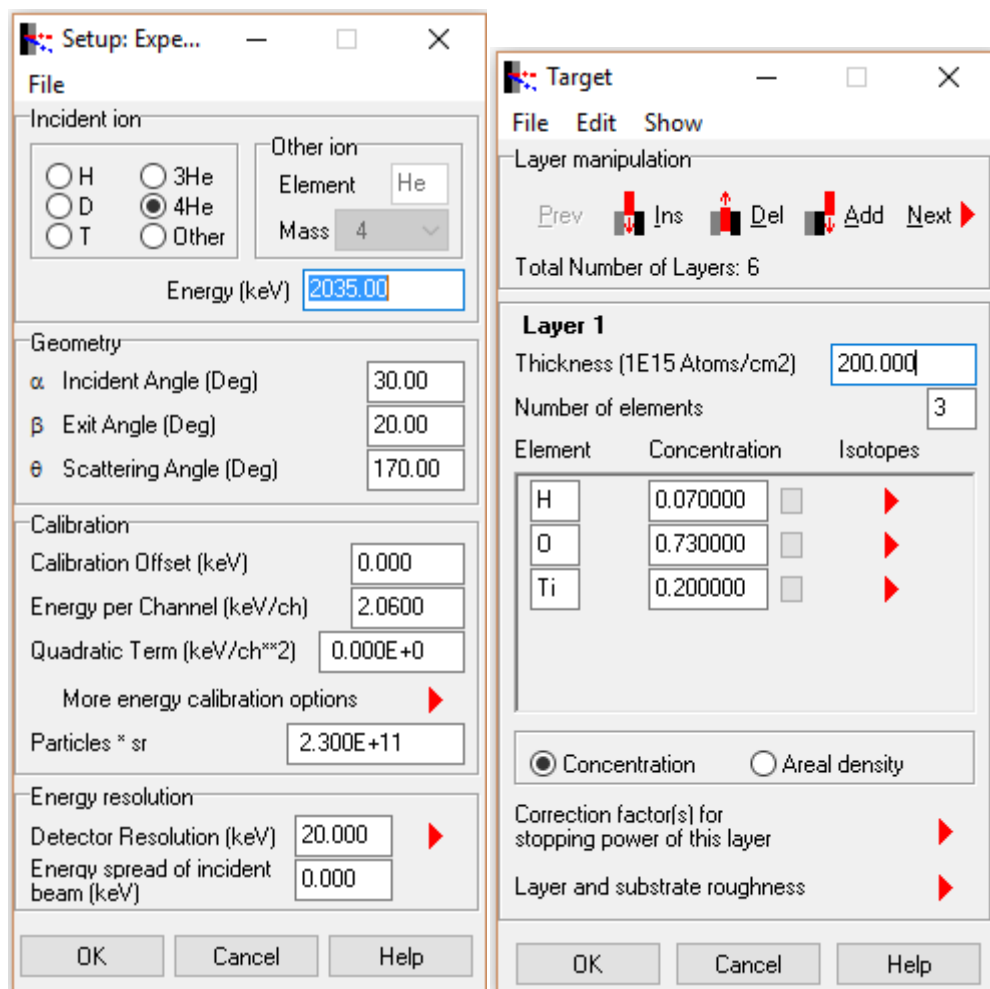


Рисунок 12 – Экспериментальные условия

Где: Incident ion – участвующий ион; Energy – энергия иона; Incident angle – угол падения; Exit angle – угол выхода иона; Scattering angle – угол рассеяния; Calibration offset – калибровочное смещение; Energy per channel – энергия на канал; Quadratic term – квадратичное отклонение; Particles – число частиц; Detector resolution – разрешение детектора; Energy spread of incident beam – разброс энергий падающего пучка; Thickness – толщина; Number of elements – количество элементов в одном слое; Element – химический элемент; Concentration – концентрация элемента [13].



На рисунке 13 представлен модельный энергетический спектр для  $\text{TiO}_2$ .

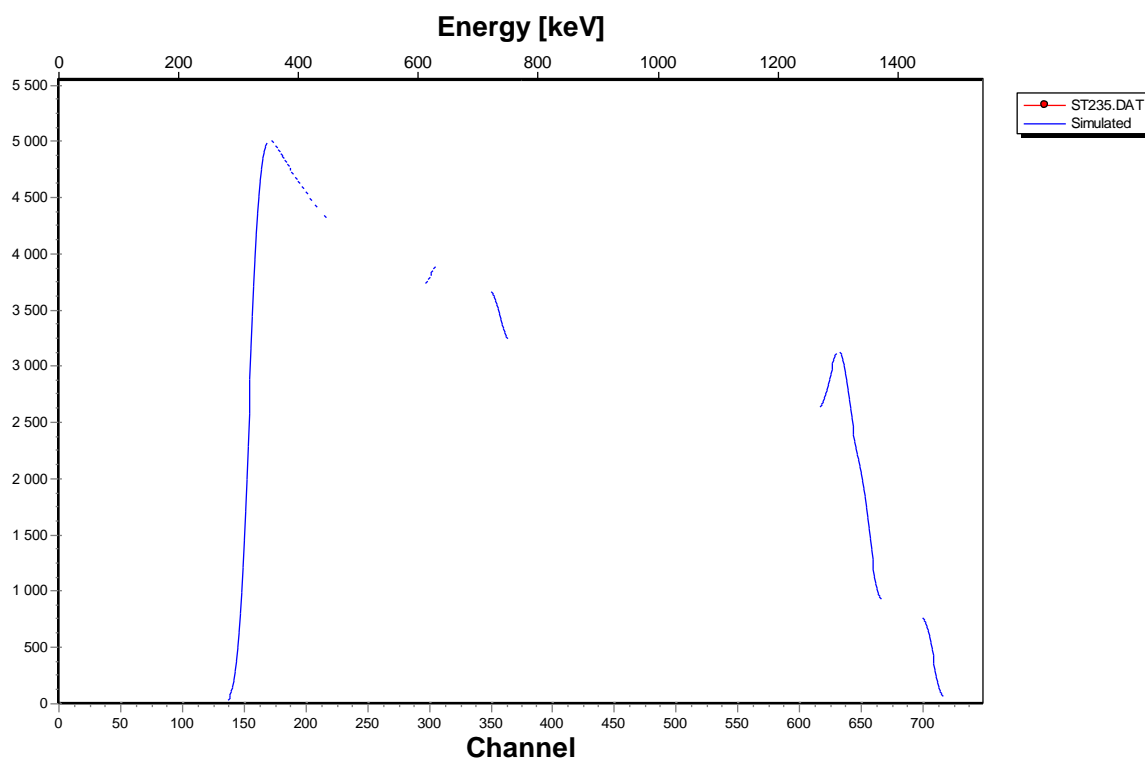


Рисунок 13 – Модельный энергетический спектр в программе SIMNRA

### 3.3.3 Экспериментальное исследование пленок $\text{TiO}_2$

В связи с перебоями в работе ускорителя во время прохождения преддипломной практики, было принято решение провести элементный анализ образцов  $\text{TiO}_2/\text{Ti}$  на ускорителе ЭСГ-5 (ЛНФ, ОИЯИ, г.Дубна).

В исследуемых пленках необходимо было исследовать стехиометрический состав и распределение элементов по глубине.

При облучении образцы размещались в вакуумной камере рассеяния на держателе перпендикулярно к анализирующему пучку ионов. Энергетические спектры от исследуемых образцов регистрировались при одинаковой временной экспозиции. В результате измерений были зарегистрированы энергетические спектры ионов  $^4\text{He}$ , рассеянных от образцов  $\text{TiO}_2/\text{Ti}$ .

Ниже на рисунке 18 представлен экспериментальный энергетический спектр  $\text{TiO}_2/\text{Ti}$ .

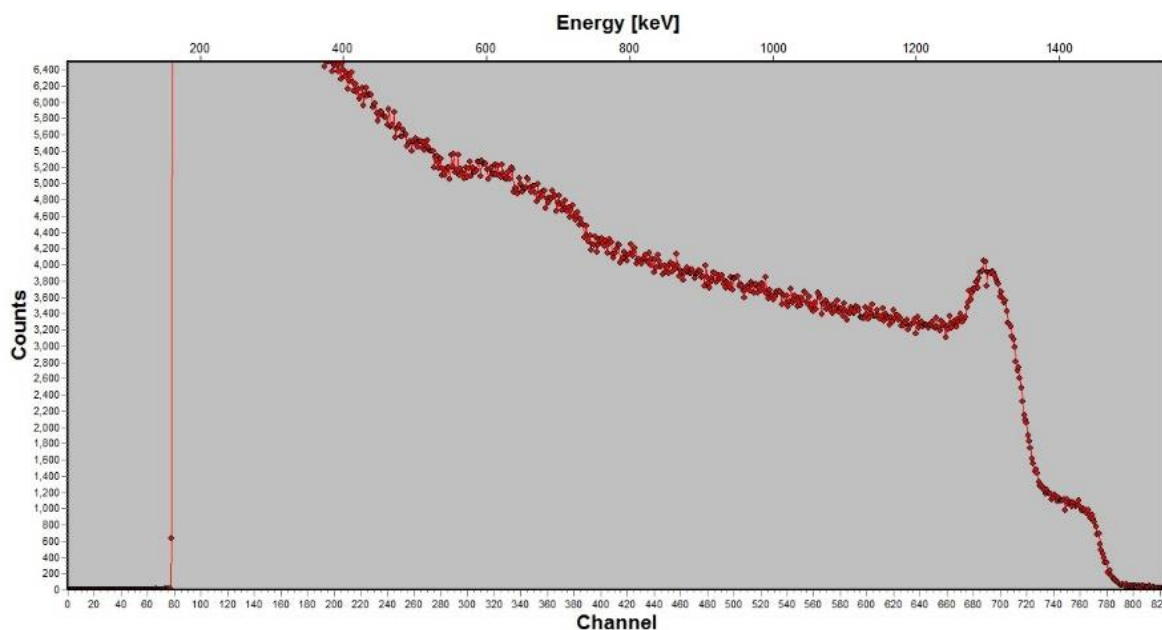


Рисунок 18 – Экспериментальный энергетический спектр  $\text{TiO}_2/\text{Ti}$

### 3.3.4 Обработка результатов эксперимента

Обработка энергетических спектров и получение профиля концентрации элементов по глубине в исследуемых образцах проводилась с применением программы моделирования SIMNRA.

Обработка заключалась в следующем: экспериментальный энергетический спектр сопоставляется с модельным энергетическим спектром, и происходит подгонка моделированного энергетического спектра под экспериментальный энергетический спектр. На рисунке 19 видно, что модельный спектр очень близок к экспериментальному энергетическому спектру, дальнейшая подгонка не требуется [15].

Красной линией на рисунке показан экспериментальный спектр для образца №1, синей линией обозначен модельный спектр.

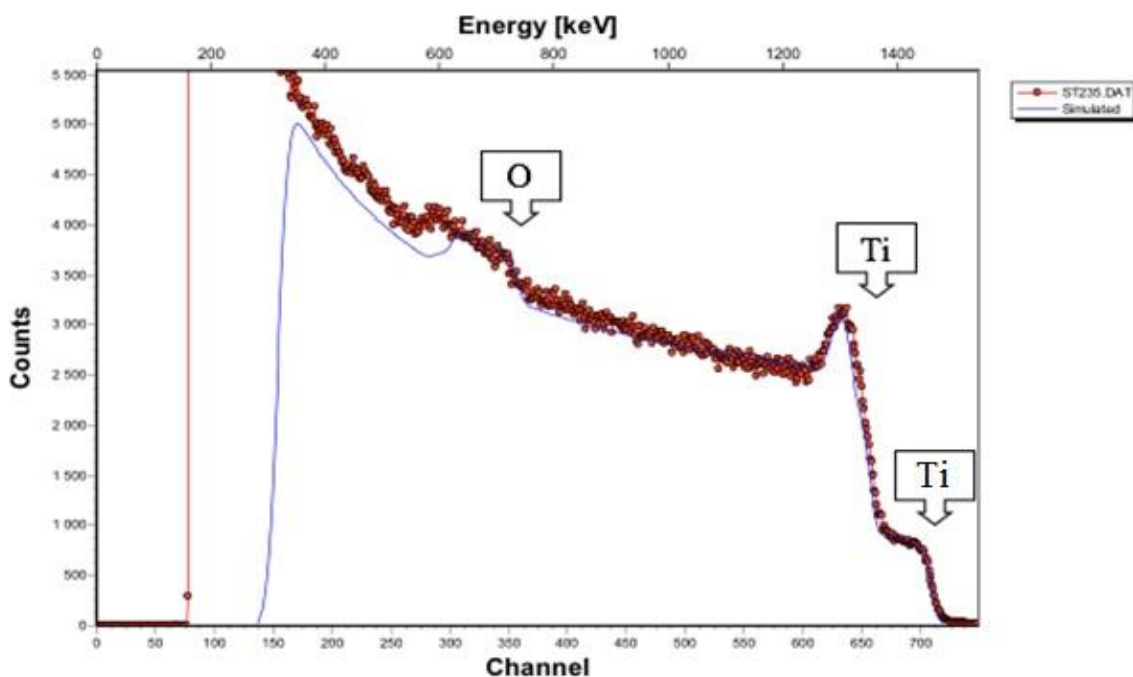


Рисунок 19 – Модельный и экспериментальный энергетические спектры  $\text{TiO}_2/\text{Ti}$  в программе SIMNRA

На спектре наблюдается ступенька справа, она соответствует титану в пленке  $\text{TiO}_2$ , ширина ступеньки – это толщина пленки  $\text{TiO}_2$ , соответственно энергетический пик подложки титана сдвинут на энергетической шкале от

своего местоположения, соответствующего кинематике, на толщину пленки  $\text{TiO}_2$ .

Красной линией на рисунке показан экспериментальный спектр для образца №2, синей линией обозначен модельный спектр.

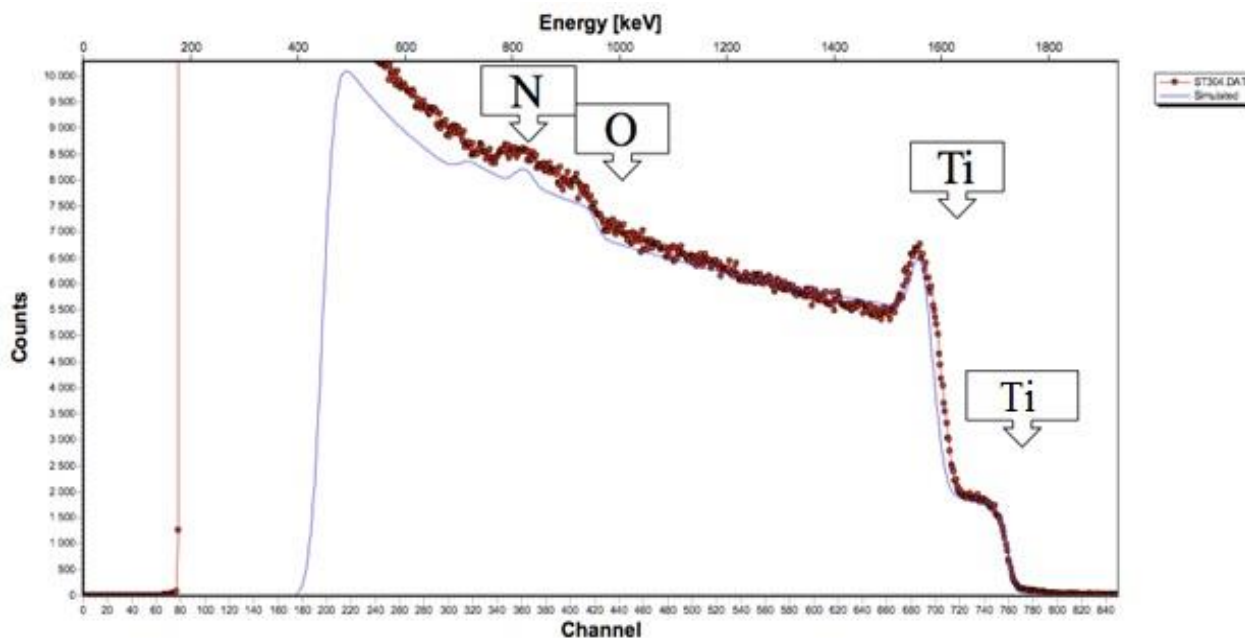


Рисунок 20 – Модельный и экспериментальный энергетические спектры  $\text{TiO}_2/\text{Ti}$

В результате эксперимента в одной из пленок  $\text{TiO}_2$  на экспериментальном спектре был идентифицирован пик, соответствующий азоту. Присутствие азота в напыленной пленке, вероятно, можно объяснить тем обстоятельством, что при магнетронном распылении процесс происходил в присутствии газообразного азота. Также видно, что толщина данной пленки тоньше, чем у предыдущего образца.

Профили распределения элементов по глубине для образца №2 представлены ниже на рисунке 21.

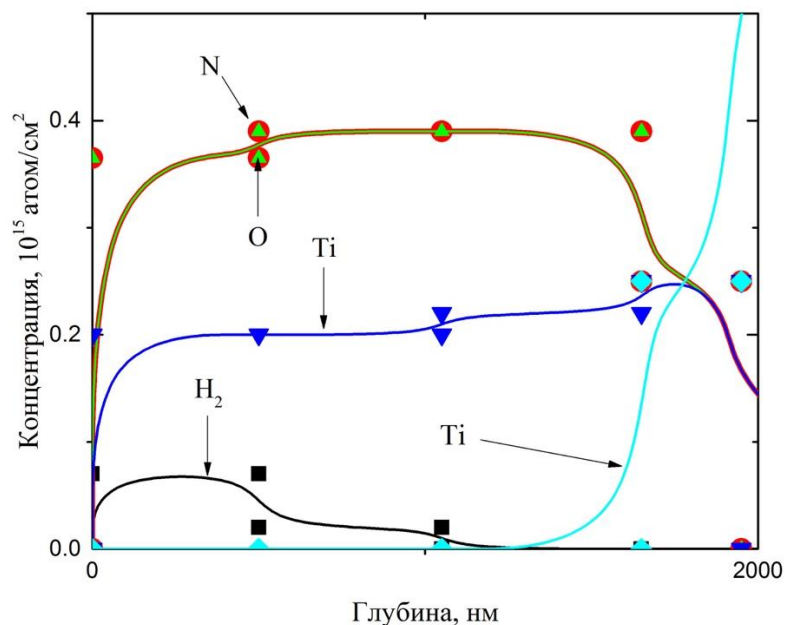


Рисунок 21 – Профиль распределения элементов  $\text{TiO}_{(2-x)}\text{N}_x$  по глубине

Анализируя полученные результаты профиля распределения можно сделать вывод, что титан, азот, кислород распределены достаточно равномерно по толщине образца. Также наблюдается присутствие  $\text{H}_2$ , особенно у поверхности пленки.

Видно, что кривая профиля распределения азота совпала с кривой профиля распределения кислорода и поэтому можно сделать вывод, что концентрация азота и кислорода в пленке оксида титана приблизительно равны.

Данные профиля распределения подтверждают влияние азота на состав напыленной пленки  $\text{TiO}_2$ . Следовательно, можно утверждать что данная пленка имеет формулу  $\text{TiO}_{(2-x)}\text{N}_x$  (в нашем случае можем утверждать  $x=1$ ).

## 4 Выводы

В ходе выполнения квалификационной работы можно сделать выводы:

1. Был проведен литературный обзор, также были выявлены достижения мировой науки и техники в области элементного анализа на заряженных частицах;
2. Были рассмотрены и проанализированы физические основы и аналитические характеристики метода POP;
3. Исследованы возможности определения элементного состава пленочных структур  $\text{TiO}_2$ , Mo; Mo/Ta; Mo/Ta/W методом POP с использованием спектрометрического альфа-источника  $^{238}\text{Pu}$  в качестве источника ионизирующего излучения и с использованием ускоренных альфа-частиц ускоренных на ЭСГ;
4. В качестве программного обеспечения была выбрана программа SIMNRA, LIZE++ и SRIM;
5. Получены и обработаны модельные и экспериментальные энергетические спектры POP для пленочных покрытий  $\text{TiO}_2/\text{Ti}$ ;
6. Проведено обсуждение полученных результатов анализов POP для исследуемых образцов и сделаны выводы по технологии их формирования.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целесообразность выполнения тех или иных исследований в современном мире определяется коммерческой ценностью работы - ее финансовой выгодностью. Оценка коммерческой ценности (потенциала) исследований является обязательным условием в поиске источников финансирования для проведения научной работы и коммерциализации ее результатов. Это представляет важность для исследовательских организаций, которые должны оценить перспективы проводимых научных исследований. Благодаря такой оценке учёный может рассматривать поиски партнеров для дальнейшего проведения научного исследования, планировать коммерциализацию результатов своих результатов и запуск собственного производства. Таким образом, целью выполнения финансово-экономической части выпускной квалификационной работы является формирование навыков оценки результата научной работы и поиск источников финансирования для проведения научного исследования. Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. провести SWOT-анализ данного исследования;
2. определить структуру работ в рамках научного исследования;
3. определить трудоемкость выполнения работ;
4. разработать график проведения научного исследования;
5. оценить бюджет научно-технического исследования.

## **5.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В рамках представленной научно-исследовательской работы был проведен ряд систематических продолжительных измерений характеристик ускорителя заряженных частиц ЭСГ2,5 и спектрометрического альфа-источника. Целью измерений стало выявление рабочих параметров ускорителя заряженных частиц ЭСГ2,5 и спектрометрического альфа-источника.

Результаты проведенных измерений представляют ценность для научных групп, применяющих ускорители заряженных частиц и спектрометрические альфа-источники в своих экспериментах. Главным образом, в работе была выявлена возможность применения спектрометрического альфа-источника в качестве ионизирующего излучения в отсутствие ускорителя заряженных частиц.

Таким образом, множество ученых-экспериментаторов заинтересованы в изучении свойств спектрометрических альфа-источников.

## **5.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В качестве конкурентов будут выступать спектрометрический альфа-источник и ускоритель заряженных частиц. Оценочная карта данного анализа приведена в таблице 3.



Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,13	4	1	1	0,52	0,13	0,13
Помехоустойчивость	0,11	5	2	1	0,55	0,22	0,11
Надежность	0,09	4	2	1	0,36	0,18	0,09
Уровень шума	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,12	5	1	1	0,6	0,12	0,48
Простота эксплуатации	0,04	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,12	5	1	1	0,6	0,12	0,48
Уровень проникновения на рынок	0,06	4	1	1	0,24	0,06	0,3
Цена	0,15	4	3	3	0,6	0,45	0,3
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	1	1	0,28	0,07	0,28
Срок выхода на рынок	0,06	3	1	1	0,18	0,06	0,3
Итого	1			4,43	1,91	1,71	3,96

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (16)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя. К конкурентным преимуществам производимого продукта можно отнести более совершенную надежность, повышенную помехоустойчивость, функциональную мощность и низкую стоимость продукции.

### 5.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3
Возможности проекта	B1	+	+	+
	B2	+	+	+

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл.5).

Таблица 5 – WOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Высокая производительность;</p> <p>С2. Доступные энергии излучения;</p> <p>С3. Минимум радиации</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Неотработанная технология;</p> <p>Сл2. Сильные конкуренты, уже присутствующие на рынке;</p> <p>Сл3. Наличие оборудования.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Модификация установки для спектрометрического альфа-источника;</p> <p>В2. Использование ускорителя заряженных частиц и спектрометрических альфа-источник для исследований</p>	<p>Модификация установки для спектрометрического альфа-источника с целью возможности облучения образцов в отсутствие ускорителя заряженных частиц является основополагающим для продвижения продукции и повышении его качества.</p>	<p>Полностью отработанная технология работы спектрометрического альфа-источника в отсутствие ускорителя позволит обойти конкурентов и привлечь внимание крупных компаний.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие ускорителя заряженных частиц;</p> <p>У2. Финансирование проекта</p>	<p>Технология имеет основополагающие сильные стороны для предотвращения угроз. Таким образом, высокая производительность технологии при доступной цене на рынке несомненно создадут спрос на товар, что, в свою очередь, затруднит развитие аналогичных технологий другим производителям.</p>	<p>Отработка технологии обеспечит конкурентоспособность на мировом рынке, а также обеспечит спрос на продукт.</p>

## 5.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы работы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение тех. задания – постановка цели, определение задач	Руководитель
Планирование эксперимента	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	3	Организация проведения измерений	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Изучение специальной литературы по теме работы	Студент
	5	Подготовка образцов для исследований	Студент
	6	Подготовка эксперимента	Руководитель, студент
	7	Проведение эксперимента	Руководитель, студент
	8	Обработка результатов	Студент
Оценка результатов	9	Оценка адекватности и достоверности результатов	Руководитель, студент
	10	Апробирование результатов в научном сообществе	Руководитель
Оформление полученных в НИР результатов	11	Составление пояснительной записки выпускной квалификационной работы бакалавра	Студент

### 5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения трудоемкости выполнения научной работы применялся экспертный путь в человеко-днях. Трудоемкость зависит от множества трудно учитываемых факторов, поэтому значение трудоемкости обладает вероятностным характером. Для оценки среднего значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (17)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы в чел.-дн;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы в чел.-дн;  $t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы в чел.-дн. Так, трудоемкость выполнения работы для научного руководителя составила:

$$t_{ожі} = 4,6 + 38 + 14 = 56,6 \text{ (чел – дн)} \quad (18)$$

Трудоемкость выполнения работы для студента:

$$t_{ожі} = 225 \text{ (чел – дн)} \quad (19)$$

После получения среднего значения трудоемкости, можно определить продолжительность для каждого этапа работы  $T_p$  в рабочих днях. При расчете значения продолжительности, учитывается параллельность выполнения работы несколькими исполнителями. Для определения продолжительности используется выражение:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i} \quad (20)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы в раб.дн.;  $t_{ожі}$  – средняя трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирования НИР была выбрана диаграмма Ганта, которая представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта. На диаграмме работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (21)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности. Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (22)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году,  $T_{\text{кал}} = 365$  дней;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году,  $T_{\text{вых}} = 104$  дней;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году,  $T_{\text{пр}} = 14$  дней.

Диаграмма Ганта строится в виде таблицы в приложении Б с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исп.	Трудоемкость			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
		$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни		
Составление ТЗ	Руководитель	3	7	4,6	4,6	7
Изучение литературы	Студент	65	80	71	71	106
Подготовка образцов	Студент	5	10	7	7	10
Подготовка эксперимента	Руководитель, студент	30	50	38	19	28
Проведение эксперимента, обработка результата	Руководитель, студент	45	50	47	47	70
Оценка результатов	Руководитель, студент	10	20	14	14	21
Написание ВКР	Студент	50	55	52	52	78

На основе таблицы 7 строится календарный план-график.

Таблица 8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исп.	Т <sub>кл</sub> , дни	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Февраль	Март	Апрель	Май
Составление ТЗ	Р	7								
Изучение литературы	С	106								
Подготовка образцов	С	10								
Подготовка эксперимента	Р, С	35								
Проведение эксперимента, обработка результатов	Р, С	70								
Оценка результатов	Р, С	21								
Написание ВКР	С	78								

 Руководитель

 Студент

#### 5.4.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НИР должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИР используется следующая группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты НИР;
2. затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
3. основная и дополнительная заработная плата исполнителей;
4. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
5. затраты на научные и производственные командировки;
6. контрагентные расходы;
7. накладные расходы.



Остановимся более подробно на расчетах основных затрат.

#### 5.4.4.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В эту статью входят затраты на сырье, материалы, используемые в процессе НИР, комплектующие изделия и т.д.

В материальные затраты также включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (23)$$

где  $m$  - количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расхi}$  - количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $C_i$  - цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы ( $З_m$ ), руб.
Титан	шт	5	120	96
Гелий	л	40	450	2880
Кислород	л	40	450	2880
ИТОГО				5856

#### 5.4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование

Данная статья включает в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ. В данной работе использовалось уже имеющееся оборудование, и закупка специального оборудования не производилась. В таком случае затраты на специальное оборудование отсутствуют.

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Альфа-источник	1	300000	300000
2.	Детектор	1	8000	8000
	Предусилитель	1	300000	300000
	Усилитель	1	300000	300000
	Вакуумная камера	1	350000	350000
	Вакуумный насос	2	500000	1000000
Итого:				2258000

#### 5.4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья включает в себя затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в выполнении НИР (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (24)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата,  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} + Т_p, \quad (25)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;  $Т_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (26)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент-инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные дни, праздничные дни)	66	66
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	48	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	299

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (27)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2 – 0,5;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	20080,87	0,3	0,5	1,3	26105,13	1371,18	34,5	46989,24
Инженер	9893	0,3	0,2	1,3	10429,45	547,8	5	19291,35
Студент	9893	0,3	0,2	1,3	10429,45	547,8	57	19291,35
ИТОГО								85571,94

#### 5.4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (28)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 13 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнители	З <sub>осн</sub> , руб.	к <sub>доп</sub>	З <sub>доп</sub> , руб.
Руководитель	46989,24	0,15	7048,37
Инженер	19291,35	0,13	2507,88
Студент	19291,35	0,13	2507,88
ИТОГО			12064,12

#### 5.4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (29)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	З <sub>осн</sub> , руб.	З <sub>доп</sub> , руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	З <sub>внеб</sub> , руб.
Руководитель	46989,24	7048,37	27,1%	14644,19
Студент	19291,35	2507,88		5907,60
Инженер	19291,35	2507,88		5907,60
ИТОГО				26459,37

#### 5.4.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (30)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Работа альфа-источника  $168 \cdot 5,8 \text{ р} = 974,4 \text{ руб.};$

Работа компьютера  $720 \cdot 5,8 \text{ р} = 4176 \text{ руб.};$

$З_{\text{накл}} = (974,4 + 4176) \cdot 0,16 = 824,064 \text{ руб.}$

#### 5.4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	5856
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	2258000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	85571,94
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12064,12
5. Отчисления во внебюджетные фонды	26459,37
6. Накладные расходы	824,064
7. Бюджет затрат НТИ	2388775,49

### 5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (31)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (32)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i^a$ ,  $b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	4	2	1
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,2	3	3	5
4. Энергосбережение	0,1	4	4	4
5. Надежность	0,15	4	3	2
6. Материалоемкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	25	21	21

$$I_{p-ucn1} = 4*0,3+5*0,1+3*0,2+4*0,1+4*0,15+5*0,15 = 4,05;$$

$$I_{p-ucn2} = 2*0,1+5*0,1+3*0,2+4*0,1+3*0,15+4*0,15 = 1,99;$$

$$I_{p-ucn3} = 1*0,3+5*0,1+5*0,2+4*0,1+2*0,15+4*0,15 = 3,1.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.} \quad (33)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (34)$$

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,5	0,65	0,42
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,05	1,99	3,1
3	Интегральный показатель эффективности	8,1	3,06	7,38
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,65		

Как видно из рассчитанных значений, вариант исполнения, который был реализован в данной работе, является наиболее ресурсоэффективным.



## 6 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

Охрана труда и безопасность жизнедеятельности регулируется рядом различных нормативно-правовых, законодательных актов, в том числе Трудовым Кодексом Российской Федерации, Кодексом об административных нарушениях, Уголовным Кодексом и Конституцией РФ.

Данная выпускная квалификационная работа была проведена в офисном помещении, оборудованном необходимой техникой для выполнения исследований, использования стандартного и специфического программного обеспечения. Для этого рабочего помещения будет приведен расчет таких производственных факторов, как освещенность и шум.

## **6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

На инженера, работающего на установке, воздействуют следующие факторы:

- физические:
  - температура и влажность воздуха;
  - шум;
  - статическое электричество;
  - электромагнитное поле низкой частоты;
  - освещённость;
  - наличие излучения;
- психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

## **6.2 Производственная санитария**

Производственная санитария – это система организационных мероприятий, технических методов и средств, предотвращающих или уменьшающих воздействия на работающих вредных производственных факторов с целью снижения риска профессиональной заболеваемости.

Производственная санитария включает в себя очистку воздуха в рабочей зоне от вредных веществ, обеспечение оптимальных и допустимых параметров микроклимата, ионизацию воздушной среды, организацию рационального освещения и вентиляции на рабочих местах, защиту от различного вида излучений и др.

Гигиена труда изучает трудовую деятельность человека и производственную среду с точки зрения их влияния на организм работающих, разрабатывающей меры и гигиенические нормативы, направленные на оздоровление условий труда и предупреждение профессиональных заболеваний. Задачей гигиены труда является определение предельно допустимых уровней вредных производственных факторов, классификация условий трудовой деятельности, оценка тяжести и напряженности трудового процесса, рациональная организация режима труда и отдыха, изучение психофизиологических аспектов трудовой деятельности, организация рабочих мест и др.

Таблица 19 – предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Азота диоксид (NO <sub>2</sub> )	2	III
Азота оксиды (в перерасчете на NO <sub>2</sub> )	5	III
Озон (O <sub>3</sub> )	0,1	I

### **6.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на установке и ПЭВМ**

#### **6.3.1 Организация мероприятий**

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

### 6.3.2 Требования к ПЭВМ и организация работы

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 22.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура - в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе, в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно.

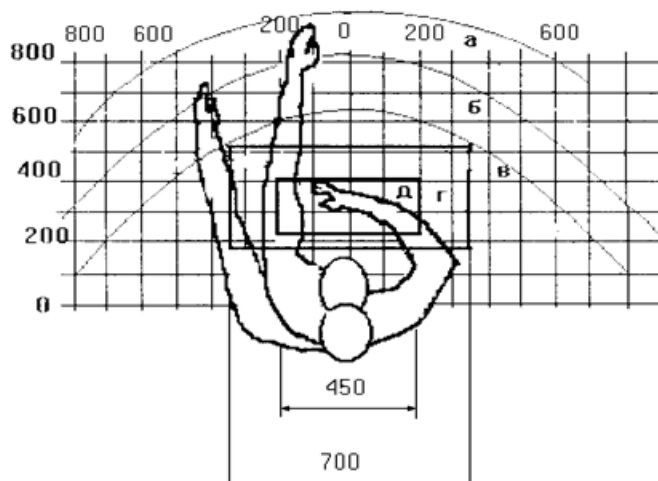


Рисунок 22 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

Где а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и

длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 D к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 D. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 D. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание. При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают

активность человека.

### 6.3.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда, это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в таблицах.

Таблица 20 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	60-40	0,1
Тёплый	23-25	60-40	0,1

Таблица 21 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин		Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин	Для диапазона температур выше оптимальных величин
Холодный	20,0 – 21,9	24,1 – 25,0	15 – 75	0,1	0,1
Теплый	21,0 – 22,9	25,1 – 28,0	15 – 75	0,1	0,2

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20÷25 °С, зимой – 13÷15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

При работе на ПЭВМ напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5Гц до 2кГц — 25В/м;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц — 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5Гц до 2кГц — 250нТл;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц — 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМИ:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

#### **6.3.4 Шум**

Шум — беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях — к глухоте. Установлено, что шумовое загрязнение среды на рабочем месте негативно влияет на работающих, вследствие чего у них снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций и т.п. В конечном итоге снижается производительность труда и качество выполняемой работы.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека, до значений, не превышающих допустимые.

Защита от шума должна обеспечиваться разработкой шумобезопасной



техники, применением средств и методов коллективной защиты, в том числе строительно-акустических, применением средств индивидуальной защиты.

В первую очередь следует использовать средства коллективной защиты. По отношению к источнику возбуждения шума коллективные средства защиты подразделяются на средства, снижающие шум в источнике его возникновения, и средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта. Снижение шума в источнике осуществляется за счет улучшения конструкции машины или изменения технологического процесса. Средства, снижающие шум в источнике его возникновения в зависимости от характера шумообразования подразделяются на средства, снижающие шум механического происхождения, аэродинамического и гидродинамического происхождения, электромагнитного происхождения.

Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Таблица 22 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами [Гц]									Уровни звука в [дБ]
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	60
93	79	70	68	58	55	52	52	49	

#### 6.4 Радиационная безопасность

Выпускная квалификационная работа выполнялась на ускорителе ЭСГ-2,5 МэВ. При работе использовались баллоны со сжатым газом, источники ионизирующего излучения (ИИ).

### 6.4.1 Источники ионизирующего излучения

В результате воздействия радиации нарушается нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ в организме. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения а также от индивидуальных особенностей организма, вызванные изменения могут быть обратимыми или необратимыми.

Важным фактором при воздействии излучения на организм является время облучения. С увеличением мощности дозы поражающее действие излучения возрастает.

Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Согласно [НРБ-99] для категории облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов основных пределов доз (ОПД), приведенных в таблице 23.

Таблица 23 – Основные пределы доз

Нормируемые	Пределы	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год		
В хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
Коже	500 мЗв	50 мЗв
Конечности	500 мЗв	50 мЗв

Доза эффективная – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности.

Доза эквивалентная – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения.

Взвешивающий коэффициент для отдельных видов излучения — множители поглощенной дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

Ускоритель заряженных частиц — класс устройств для получения заряженных частиц (элементарных частиц, ионов) высоких энергий.

В зависимости от диапазона энергий частиц основными радиационно-опасными видами излучений являются:

1. до энергий порядка 10 МэВ:
  - пучки выведенных ускоренных частиц,
  - нейтронное излучение,
  - наведенная бета- и гамма-активность;
2. свыше 10 МэВ:
  - пучки выведенных ускоренных частиц,
  - нейтронное излучение,
  - наведенная бета- и гамма-активность,
  - гамма-кванты высоких энергий, образующиеся при ядерных взаимодействиях,
  - мезоны.

#### **6.4.2 Общие правила эксплуатации ускорителей**

Сотрудники, проводящие ремонтные или профилактические работы с деталями ускорителей, имеющими остаточную активность, должны строго выполнять все требования личной гигиены.

Как во время работы, так и при выходе из помещений, где ведутся работы, необходимо проверять чистоту одежды, рук, тела — на радиометрическом приборе. Спецодежда и защитные средства должны храниться в специальных шкафах.

Все выносимые из зала ускорителя детали и материалы необходимо проверить на наличие на них наведенной активности. В случае ее обнаружения

указанные предметы следует хранить в специальном помещении до уменьшения наведенной активности до допустимых уровней.

### **6.4.3 Косвенные факторы опасности**

В комплекс ускорителя обычно входят устройства, работа которых связана с различными видами нерадиационной опасности. К их числу относятся высоковольтные генераторы, мощные высокочастотные генераторы, вакуумные системы, аппаратура высокого давления, мощные электромагнитные поля. Работа с этими узлами ускорителя проводится по правилам, указанных в специальных инструкциях.

В помещениях, где расположен ускоритель, в результате ионизации воздуха может образовываться значительное количество озона и окислов азота.

### **6.4.4 Средства коллективной защиты (СКЗ)**

- средства защиты должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта по нормативно-технической документации, утвержденной в установленном порядке;
- средства защиты должны исключать непосредственный контакт персонала с радиоактивными веществами и (или) уменьшать воздействие ионизирующих излучений на работающих до допустимых уровней;
- средства защиты должны изготавливаться из материалов, обладающих стойкостью по отношению к применяемым веществам и иметь гладкую поверхность и влагостойкие слабосорбирующие покрытия, облегчающие удаление радиоактивных загрязнений;
- герметизирующие устройства, применяемые при работах с открытыми радиоактивными источниками ионизирующего излучения;
- средства защиты, контактирующие с радиоактивными растворами, должны изготавливаться из коррозионностойких материалов;
- средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ должны иметь плавно сопрягающиеся внутренние поверхности и обладать механической прочностью; размеры и конструкция этих

устройств должны определяться состоянием, количеством и свойствами радиоактивных веществ;

- конструкция контейнеров и упаковочных комплектов для транспортирования и временного хранения радиоактивных веществ должна обеспечивать возможность механизированной загрузки и разгрузки их с самоходных транспортных средств;

- показатели надежности средств защиты должны указываться в стандартах, технических условиях и технических заданиях на их разработку или модернизацию;

- устройство и эксплуатация электрооборудования средств защиты должны выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.0-75, правилами устройства электроустановок, правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей, утвержденными Госэнергонадзором;

- при использовании сборочных единиц (узлов) электрооборудования в мощных полях ионизирующих излучений необходимо учитывать воздействие этих излучений;

- знаки радиационной опасности должны выполняться по ГОСТ 17925-72;

- знаки радиационной опасности и предупредительные надписи должны быть отчетливо видны на расстоянии не менее 3 м.

#### **6.4.5 Средства индивидуальной защиты (СИЗ)**

- при работе с радиоактивными изотопами в качестве основной спецодежды можно применять халаты, комбинезоны и полукOMBинезоны из неокрашенной хлопчатобумажной ткани, а также хлопчатобумажные шапочки;

- при опасности значительного загрязнения помещения радиоактивными изотопами поверх хлопчатобумажной одежды следует

надевать пленочную одежду (нарукавники, брюки, фартук, халат, костюм), закрывающую все тело или только места наибольшего загрязнения;

- в качестве материалов для изготовления пленочной одежды могут применяться некоторые виды пластиков, органическое стекло, некоторые сорта резины и другие материалы, легко очищающиеся от радиоактивных загрязнений;
- для выполнения ремонтных работ разработаны пневмокостюмы из пластических материалов;
- для защиты глаз применяются очки закрытого типа со стеклами, содержащими фосфат вольфрама или свинец;
- использование пленочных туфель, специальных ботинок, парусиновых чехлов, надеваемые на обувь и снимаемые при выходе из загрязненных мест.

При использовании средств индивидуальной защиты следует обращать внимание на последовательность их надевания и снятия. Надевать и снимать перчатки следует так, чтобы их внешняя сторона не коснулась внутренней и чтобы голые пальцы не притрагивались к внешней загрязненной стороне.

Весь обслуживающий персонал, имеющий контакт с радиоактивными веществами, должен быть снабжен индивидуальными дозиметрами для контроля дозы альфа-излучения, получаемой каждым работником.

## **6.5 Электробезопасность**

Существует три вида помещений с точки зрения электрической безопасности:

- безопасные;
- с повышенной опасностью;
- особо опасные.

Безопасные помещения:

- сухость, влажность колеблется от 40 до 45%;
- хорошо проветриваемые;
- хорошо отапливаемые, температура воздуха составляет 18-20°C;

- без токопроводящей пыли;
- где коэффициент заполнения площади предметами из металла составляет меньше, чем 0.2;
- с токонепроводящими полами (деревянные, паркетные, ламинатные).

Помещения с повышенной опасностью:

- высокая влажность 70-80%;
- плохо проветриваемые;
- с токопроводящими полами;
- с наличием заземления;
- с токопроводящей пылью (волоочильные цехи, угольные мельницы и подобные);
- жаркие, в которых температура воздуха превышает 30 °С;
- с большим количеством металлического оборудования.

Особо опасные помещения:

- особо сырые, в которых относительная влажность составляет 100%;
- с едкими парами и газами;
- жаркие с температурой 30 °С и особо жаркие с температурой свыше 35 °С;
- пожароопасные;
- взрывоопасные.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ др. электроустановками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом

электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает биологическое, электролитическое, тепловое и механическое действие.

Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении тканей и органов. Вследствие этого наблюдаются судороги скелетных мышц, которые могут привести к остановке дыхания, отрывным переломам и вывихам конечностей, спазму голосовых связок.

Электролитическое действие тока проявляется в электролизе (разложении) жидкостей, в том числе и крови, а также существенно изменяет функциональное состояние клеток.

Тепловое действие электрического тока приводит к ожогам кожного покрова, а также гибели подкожных тканей, вплоть до обугливания.

Механическое действие тока проявляется в расслоении тканей и даже отрывах частей тела.

Сопротивление сухой неповреждённой кожи человека может быть до 80 000 Ом, сопротивление внутренних органов составляет 800 - 1000 Ом, поэтому расчетное сопротивление человека электрическому току принимается равным 1000 Ом (1 кОм).



Безопасным для организма человека можно считать переменный ток силой не выше 0,05 А, ток силой более 0,05 - 0,1 А опасен и может вызвать смертельный исход.

Безопасным напряжением для человека считается напряжение 42 В в нормальных условиях и 12 В в условиях повышенной опасности (сырость, высокая температура, металлические полы и др.).

### **6.5.1 Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок**

Отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы, вывешивание плакатов, указывающих место работы, заземление корпусов всех установок через нулевой провод, покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией, недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

Опасность поражения электрическим током при прикосновении к корпусу и другим металлическим частям оборудования, оказавшимися под напряжением вследствие замыкания на корпусе и по другим причинам, может быть устранена быстрым отключением повреждённой установки от питающей сети и вместе с тем снижением напряжения корпуса относительно земли.

Индивидуальные средства защиты от поражения электрическим током — это изделия, изготавливаемые из/или с использованием диэлектриков: резины, бакелита, электрокартона, фарфора и пр. Они выдаются работникам по установленным нормативам. Условия хранения СИЗ, предохраняющих от поражения электротоком, должны гарантировать их сохранность в течение всего установленного срока эксплуатации. Поэтому средства индивидуальной защиты в электроустановках должны храниться в закрытых сухих помещениях и предохраняться от загрязнения и разного рода повреждений. Для изделий из

диэлектрической резины установлены дополнительные требования – температура их хранения от 5 до 25 °С при относительной влажности от 50 до 70%. Приборы и инструменты: указатели, клещи, а также резиновые противогазы хранят в специальных чехлах.

## **6.6 Пожарная и взрывная безопасность**

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, В, С, D, Е. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на:

- организационные;
- технические;
- эксплуатационные;
- режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных

правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий несгораемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При обращении с газовыми баллонами необходимо выполнять следующие правила:

11. не допускать к эксплуатации баллоны, для которых истек срок очередного испытания;

12. запрещается производить ремонт или окраску баллонов и их арматуры;
13. запрещается отогревание редукторов, вентилях открытым огнем;
14. при перекачивании кислородных баллонов вручную нельзя брать за вентиль;
15. не допускается во время погрузки и разгрузки ударять баллоны о твердые предметы;
16. не допускается совместное хранение баллонов с кислородом и горючими газами.

Хранение газовых баллонов на складе производится в вертикальном положении с установкой их в специально оборудованных гнездах, клетках или с ограждением их барьером.

Предохранительные клапаны для газовых баллонов должны быть выбраны так, чтобы в сосуде не могло создаваться давление, превышающее расчетное давление более чем на 0,05 МПа (0,5 кг/см<sup>2</sup>) для сосудов с давлением до 0,3 МПа (3 кг/см<sup>2</sup>), на 15% - для сосудов с давлением свыше 0,3 до 6,0 МПа (от 3 до 60 кг/см<sup>2</sup>) и на 10% - для сосудов с давлением свыше 6,0 МПа (60 кг/см<sup>2</sup>).

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

По современным требованиям пожарной безопасности производственные, административные и иные общественные здания должны оснащаться огнетушителями.

Таблица 24 – Виды огнетушителей

Типы огнетушителей	Использование	Марки
Водные	Использование для тушения пожаров классов А, В, Е.	ОВ(К), ОВ(Р), ОВ(М)
Воздушно-пенные	Использование только на начальной стадии пожара.	ОВП-4, ОВП-8, ОВП-10, ОВП-40, ОВП-50, ОВП-100, ОВП-250
Порошковые	Использование для тушения пожаров классов А, В, С, D, Е.	ОП - 0,5, ОП-2, ОП-3, ОП-4, ОП-5, ОП-8, ОП – 10, ОП – 25, ОП – 35, ОП – 50, ОП – 80, ОП - 100
Углекислотные	Использование для тушения пожаров классов В, С.	ОУ-1, ОУ-2, ОУ-3, ОУ-5, ОУ-10, ОУ-20, ОУ-40, ОУ-80



Рисунок 23 – План эвакуации при пожаре

## 6.7 Освещение

Качество освещения влияет на работоспособность сотрудника, на его психологическое состояние в процессе выполнения работ. Наиболее благоприятное влияние на состояние сотрудника оказывает преимущественно естественное освещение. Нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения зданий и сооружений, мест производства работ вне зданий представлены в СНиПе 23-05-95.

Основными регламентируемыми факторами норм освещения является характер зрительной работы, фон, контраст объекта с фоном, система и вид освещения.

Главной задачей текущего светотехнического расчета является определение необходимой мощности электрической осветительной установки для создания требуемой освещённости. В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы: выбор системы освещения; выбор источников света; выбор светильников и их размещение; выбор нормируемой освещённости; расчёт освещения методом светового потока.

1. Выбор системы освещения. Для производственных помещений всех ПЭВМ назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Система комбинированного освещения принимается в основном для помещений ремонта, регулировки, чистки и пайки аппаратуры и приборов, в прочих случаях следует использовать систему общего (равномерного или локализованного) освещения. Для данной рабочей зоны выбирается расчет общего равномерного освещения.

2. Выбор источников света. Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания. Для выбранного типа освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы, так как они энергетически более экономичны и обладают большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы.

Таблица 25 – Световые величины источников света

Типы ламп	Электрическая энергия, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача лм/Вт
Лампа накаливания	100	1360	13,6
Люминесцентная лампа	58	5400	93
Натриевая лампа высокого давления	100	10000	100
Натриевая лампа низкого давления	180	33000	183
Ртутная лампа высокого давления	1000	58000	58
Металлогалогенная лампа	2000	190000	95

Выбор светильников и их размещение. Светильник – прибор, перераспределяющий свет ламп внутри больших телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока. Выбор типа светильников основывается на светотехнических требованиях, экономических показателях и условиях среды. Для данной рабочей зоны выбираем люминесцентные лампы типа ОД со световым потоком 1650 лм и мощностью 30 Вт. Размеры светильника: 933х204мм.

Пространственное положение светильников в выбранном помещении определяется следующими параметрами:

- $H = 3$  – высота помещения;
- $h_c = 0,2$  – расстояние светильников от перекрытия (м);
- $h_n = H - h_c = 2,8$  – высота подвеса (м);
- $h_p = 0,7$  – высота рабочей поверхности над полом (м);
- $h = h_n - h_p = 2,1$  – расчетная высота (м);
- $L$  – расстояние между соседними светильниками (м);
- $l$  – расстояние от крайних светильников до стены (м). Оптимальное

расстояние  $n$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ . Наиболее приемлемым расположением светильников является их расположение в шахматном порядке, либо по сторонам квадрата. В данном

случае будет использовано размещение по сторонам квадрата.

Люминесцентные светильники при равномерном расположении обычно располагаются рядами. Основным критерием оптимального расположения светильников является величина  $\lambda = L/h$  - наивыгоднейшее расстояние между осветительными приборами, уменьшение которого удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости. Данная величина зависит от кривой света светильника. Для выбранного светильника характерна кривая типа Д, где  $\lambda = 1,2 - 1,6$ . При выполнении расчета принимаем  $\lambda = 1,4$ .

Расстояние  $L$  между светильниками определяется как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,1 = 2,94 \text{ м} \quad (33)$$

Расстояние от крайних светильников до стены:

$$l = L/3 = 2,94/3 = 0,98 \text{ м} \quad (34)$$

Произведем расчет числа рядов и количества светильников в ряду. Число рядов светильников в помещении:

$$N_A = \frac{A}{l} = \frac{5,8}{2,94} \approx 2 \quad (35)$$

Число светильников в ряду:

$$N_B = \frac{B}{L} = \frac{5,31}{2,94} \approx 2 \quad (36)$$

Так как помещение имеет прямоугольную форму, то разумнее добавить в каждый ряд по одному дополнительному светильнику, тем самым уменьшив расстояние между светильниками в ряду до 50 см. Это позволит усилить освещенность помещения для более комфортной работы.

Таким образом, общее число светильников в помещении:

$$N = N_a \cdot N_b = 3 \cdot 2 = 6 \quad (37)$$

На рисунке 24 изображен план кабинета и расположения источников света с люминесцентными лампами.



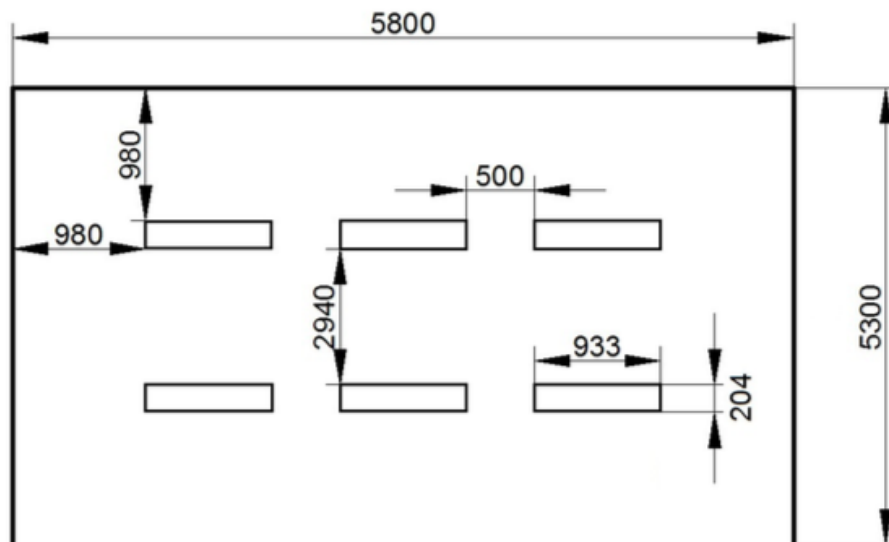


Рисунок 24 – План расположения источников света

3. Выбор нормируемой освещённости. Основные требования по значениям нормируемой освещённости рабочих поверхностей сформулированы в СНиП 23-05-95. Выбор освещённости основан на таких условиях как размер объёма различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона.

В соответствии с требованиями по работе с ПК, при работе с экраном в сочетании с работой над документами наиболее оптимальной для работы с экраном является освещенность 200 лк.

4. Расчёт общего равномерного освещения. Для произведения расчёта общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности используется метод коэффициента светового потока, который учитывает световой поток, отражённый от потолка и стен. Расчет общего равномерного уровня искусственного освещения горизонтальной поверхности рабочего места производится способом коэффициента светового потока:

$$\phi_{\Pi} = \frac{E_k S K_z Z}{N n} = \frac{200 \cdot 30,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,53} = 1598 \text{ Лм} \quad (38)$$

где  $E_H$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05- 95,  $E_H=200$  Лк (Характеристика зрительной работы VI: Грубая (очень малой точности));

$S$  – площадь освещаемого помещения,  $\text{м}^2$ ;  $K_z$  – коэффициент запаса,

учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли,  $K_3=1,5$  (Помещения с малым выделением пыли);  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{cp}/E_{min}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;  $N$  – число ламп в помещении, 12;  $n$  – коэффициент использования светового потока, 0,53.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ .

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{30,8}{2,1 \cdot 11,11} = 1,3 \quad (39)$$

Коэффициент отражения стен (свежепобеленное состояние стен с окнами без штор):  $\rho_c = 50 \%$ ; Коэффициент отражения потолка (свежепобеленное состояние потолка):  $\rho_n = 70\%$ ;

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (40)$$

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% = \frac{1650 - 1598}{1650} \cdot 100\% = 3,2\% \quad (41)$$

Таким образом:  $-10\% \leq 3,2\% \leq 20\%$ , освещенность рассматриваемого помещения находится в диапазоне оптимального освещения. Это означает, что мощность и количество осветительных приборов для данного помещения выбраны правильно.

## 6.8 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды представляет собой комплекс мер, направленный на ограничение негативного воздействия человеческой деятельности на природу.

Охрана окружающей среды от радиоактивных загрязнений обеспечивается следующими мерами:

- использованием совершенной технологии производства, которая сводит к минимуму количество образующихся радиоактивных отходов и предупреждает их утечку (герметизация процессов, связанных с образованием радиоактивных газов и аэрозолей, применение оборотного цикла водоснабжения и т.д.);
- методами обезвреживания, централизованного сбора и хранения радиоактивных отходов;
- организацией санитарно-защитных зон и планировочными мероприятиями.

К радиоактивным отходам относятся растворы, изделия, материалы, биологические объекты, содержащие радионуклиды в количестве, превышающем величины, установленные действующими санитарными правилами (СПОРО-2002) и не подлежащие дальнейшему использованию. К радиоактивным отходам относятся также отработавшие источники ионизирующих излучений.

Таблица 26 – Классификация радиоактивных отходов

Категория отходов	Удельная (объемная) активность, Бк/кг (Бк/л)		
	$\beta$ -, $\gamma$ - активные радионуклиды	$\alpha$ -активные радионуклиды	трансурановые радионуклиды
Низкоактивные	менее $10^6$	менее $10^5$	менее $10^4$
Среднеактивные	от $10^6$ до $10^{10}$	от $10^5$ до $10^9$	от $10^4$ до $10^8$
Высокоактивные	более $10^{10}$	более $10^9$	более $10^8$

Также из факторов является неподобающая утилизация люминесцентных ламп, используемых в системе освещения рабочего помещения. Люминесцентные лампы содержат от 3 до 5 мг ртути и относятся к 1 классу токсичных отходов. Следовательно, такого типа лампы требуют особые условия хранения, эксплуатации и утилизации.

Проблема переработки промышленного и бытового мусора значительно упрощается процессом его сортировки. В группе, в которой выполнялась данная работа, организован сбор промышленных отходов, сортировка и отправка их на

утилизацию.

## **6.9 Чрезвычайные ситуации**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

Чрезвычайные ситуации бывают техногенные и природные. Техногенные чрезвычайные ситуации вызваны производственной деятельностью человека, в то время как природные ЧС возникают по причине природных явлений и процессов. Так, к техногенным чрезвычайным ситуациям относятся пожары и взрывы на производстве, аварии с выбросом химически опасных или радиоактивных веществ и т.д. Природные ЧС могут возникнуть ввиду наводнения, заморозка, урагана и т.д.

## **6.10 Научно-техническая документация**

1. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ;
2. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
3. ГОСТ 12.1.003-8 Шум. Общие требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002;
4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы;
5. ГОСТ 12.1.005—88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998;
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.– М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.– 100 с;
7. ГОСТ 12.4.120-83. Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования;
8. ГОСТ 12.2.062-81 Оборудование производственное. Ограждения защитные. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2006;
9. ГОСТ 12.2.085-2002 Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2007;
10. ГОСТ 12.2.085-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2007;
11. Приказ Минэнерго РФ от 30.06.2003 N 261 «Об утверждении инструкции по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках»;
12. ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2010;

### 13. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен глубокий литературный обзор по заданной тематике, изучены физические основы и техника исследования метода Резерфордовского обратного рассеяния (ROP).

Были освоены навыки получения энергетических спектров на экспериментально установке с ускорителем ЭСГ-2,5 при ИЯТШ НИ ТПУ.

Освоено моделирование эксперимента посредством пакетов программ SIMNRA, SRIM, BS.

Были исследованы стехиометрический состав и распределение элементов по глубине в пленках  $\text{TiO}_2$  методом ROP при облучении альфа-частицами, ускоренными на электростатическом генераторе ЭСГ-2,5. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что стехиометрический состав пленок не соответствует предполагаемой пленке  $\text{TiO}_2$ .

Проведенные исследования показали, что результаты ROP, полученные с помощью облучения альфа-источником  $^{238}\text{Pu}$  с успехом можно применять для отработки технологий нанесения пленочных покрытий при отсутствии стационарного ускорителя заряженных частиц.

## Список использованных источников

1. Thull R. Titan in der Zahnheilkunde-Grundlängen // Z. Mitteilungen. – 1992. – V. 82. – P. 39–45.
2. Пустовалова А.А. Структурные особенности и свойства азотосодержащих тонких пленок диоксида титана, сформированных методом реактивного магнетронного распыления, для применения в биомедицине // Автореферат диссертации. – Томск, 2017. – 24 с.
3. Боярко Е.Ю. и др. Методы ядерного анализа конденсированных сред / учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 303 с.
4. Ziegler JF, Biersack JP and Littmark U. The Stopping and Ranges of Ions in Solids / Oxford: «Pergamon». - 1985 - 321 p.
5. Chu WK, Nayer JW and Nicolet Backscattering Spectrometry / NY: «AcademicPress». - 1978 - 384 p.
6. High energy ion beam analysis of solids / Eds G. Gotz, K. Gartner. Berlin: «Academic-Verlag». - 1988. - 376 p.
7. Комаров Ф.Ф., Кумахов М. А., Ташлыков И. С. Неразрушающий анализ поверхностей твердых тел ионными пучками. / Мн.: «Университетское». - 2009. – 256 с.
8. Ташлыкова-Бушкевич И.И. Метод Резерфордского обратного рассеяния при анализе состава твердых тел // Учебное пособие. – Мн: БГУИР. - 2003. – 52 с.
9. Калашникова В.И, Козодаев М.С. Детекторы элементарных частиц // Москва: Издательство «Наука». - 1966. - 408 с.
10. Акимов Ю.К и др. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике // Москва Энергоатомиздат. -1989. -344 с.
11. Машков Ю.К и др. Физические методы анализа материалов // Учеб. Пособие. - Омск: Изд-во СибАДИ. - 2003. - 111 с.
12. Буркова И. Е. и др. Разработка и внедрение метода Резерфордского обратного рассеяния для создания новой полупроводниковой технологии и



оптимизации имеющихся техпроцессов. // Томск. - 1987 - 70с.

13. M. Mayer. SIMNRA User's Guide, Report IPP 9/113 / Germany: «Max-Planck-Institute fur Plasmaphysik Garching». - 2007 - 69 p.

14. Л. Фелдман, Д. Майер. Основы анализа поверхности и тонких пленок. // Москва: Издательство «Мир». - 1989. - 341 с.

15. Заводчиков В.М., Ятис А.А., Извлечение информации из наложенных спектров обратного рассеяния ионов. // В кн. Труды XI Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: МГУ. - 1982 – 488с.